



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY**

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**KONSTRUKČNÍ NÁVRH KOMPAKTNÍHO  
TABLETOVACÍHO LISU**

DESIGN OF A TABLET PRESS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Petr Opravil**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Dominik Hermanský**

**BRNO 2021**



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky  
Student: **Petr Opravil**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Dominik Hermanský**  
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Konstrukční návrh kompaktního tabletovacího lisu

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Tabletovací lis je nejdůležitější technologickou komponentou v procese výroby tablet ve farmaceutickém průmyslu. Hlavními parametry lisu jsou počet vyrobených tablet za jednotku času a tlaková síla lisu. Tabletovací lisy jsou konstruovány vždy na míru podle přesně stanovených požadavků zákazníka.

### Cíle bakalářské práce:

Rešerše v oblasti tabletovacích lisů.  
Zhodnocení aktuálního stavu poznání.  
Konstrukční návrh zadaných skupin lisu.  
Analýza a vyhodnocení navrhovaného řešení.  
CAD model, výkres hlavní sestavy, kusovník a min. 2 výrobní výkresy.  
Závěry a doporučení pro praxi.

### Seznam doporučené literatury:

SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a Jiří DVOŘÁČEK. Základy konstruování. Vydání šesté. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2015. ISBN 978-80-7204-921-9.

JANÍČEK, Přemysl a Jiří MAREK. Expertní inženýrství v systémovém pojetí. Praha: Grada, 2013. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-4127-7.

MEDEK, Jaroslav. Mechanické pochody. Vyd. 3. přeprac. Brno: PC-DIR, 1998. ISBN 80-214-1264-X.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

# ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se věnuje konstrukci rotačního tabletovacího lisu ve farmaceutickém průmyslu. V první části se věnuje procesu tabletování a poté typům rotačních tabletovacích lisů a jejich využití. Druhá část se věnuje konstrukci rotačního tabletovacího lisu a základním pevnostním výpočtům jeho částí.

# ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the construction of a rotary tablet press for use in the pharmaceutical industry. First part describes the process of tableting and then the types of rotary tablet presses and their uses. The second part is focused on the construction of a rotary tablet press and the basic strength calculations of its parts.

# KLÍČOVÁ SLOVA

Tabletovací lis, rotační tabletovací lis, tabletování,

# KEYWORDS

Tablet press, rotary tablet press, tableting,



# BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

## Citace tištěné práce:

OPRAVIL, Petr. *Konstrukční návrh kompaktního tabletovacího lisu*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/133043>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Dominik Hermanský.

## Citace elektronického zdroje:

OPRAVIL, Petr. *Konstrukční návrh kompaktního tabletovacího lisu* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-24]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/133043>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Dominik Hermanský.





# PODĚKOVÁNÍ

Tady bych chtěl poděkovat vedoucímu své práce Ing. Dominiku Hermanskému za cenné rady a postřehy při vedení mé bakalářské práce.



# ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Dominika Hermanského a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 21.05.2021

.....

Petr Opravil



# Obsah

1. Úvod .....	15
2. Rešerše .....	16
2.1 Tabletování partikulárních materiálů .....	16
2.1.1 Partikulární látky .....	16
2.1.2 Aglomerace (Spojování částic partikulárních látek) .....	16
2.1.3 Tabletování .....	17
2.2 Kritéria pro vhodnou volbu tabletovacího lisu .....	23
2.3 Typy tabletovacích lisů .....	24
2.3.1 Manuální .....	24
2.3.2 Výstředníkové .....	25
2.3.3 Rotační tabletovací lis (RTP) .....	27
3. Konstrukční návrh .....	32
3.1 Věž .....	32
3.2 Vodící Dráhy .....	33
3.3 Lisovací válce .....	34
3.4 Volba motoru a převodovky pro hlavní pohon .....	34
3.5 Hřídel Věže .....	38
3.5.1 Uvolnění a výpočet sil působících v ložiscích. ....	38
3.5.2 Návrh hřídele a kontrola vůči mezním stavům .....	40
3.5.3 Ložiska Hřídele Věže .....	42
3.5.4 Kontrola Pera na otlačení .....	42
3.6 Pouzdro .....	43
3.7 Hřídel plnění .....	44
3.7.1 Volba motoru a převodovky pro plnění .....	44
3.7.2 Uvolnění a výpočet sil působících v ložiscích. ....	45
3.7.3 Návrh hřídele a kontrola vůči mezním stavům .....	46
3.7.4 Ložiska hřídele plnění .....	47
3.8 Volba motoru a převodovky pro dolní lisovací válce .....	47
3.9 Hřídele lisovacích kol .....	47
3.10 Horní hlavní hřídel .....	49
3.10.1 Uvolnění a výpočet sil působících v uložení .....	49
3.10.2 Návrh hřídele a kontrola vůči mezním stavům .....	50
3.11 Horní vedlejší hřídel .....	53
3.11.1 Uvolnění a výpočet sil působících v uložení .....	53

3.11.2 Návrh hřídele a kontrola vůči mezním stavům .....	54
3.12 Dolní hlavní hřídel.....	57
3.12.1 Uvolnění a výpočet sil působících v uložení .....	57
3.12.2 Návrh hřídele a kontrola vůči mezním stavům .....	58
3.13 Dolní vedlejší hřídel .....	61
3.13.1 Uvolnění a výpočet sil působících v uložení .....	61
3.13.2 Návrh hřídele a kontrola vůči mezním stavům .....	62
3.14 Ložiska Hřídelů lisovacích kol .....	64
3.15 Nastavení výšky .....	65
3.15.1 Volba motoru a převodovky pro nastavení výšky .....	65
3.16 Rám stroje .....	66
3.17 Ovládání.....	66
4. Závěr .....	67
5.Seznam použitých zdrojů.....	68
6.Seznam obrázků .....	71
7.Seznam příloh .....	72

## 1.Úvod

Cílem této práce je navrhnout rotační tabletovací lis, jenž je schopen produkovat až 200 000 tablet za hodinu, při lisovací síle na před-lisovém válci 40 kN a 80 kN na hlavním lisovacím válci. Volit výrobní materiály takové, aby byli vhodné pro využití ve farmaceutickém průmyslu.

První část je rešeršní. Na začátku se věnuji procesu tabletování, dále typům tabletovacích lisů a součástí rotačního tabletovacího lisu.

Druhá část je zaměřena na konstrukci rotačního tabletovacího lisu. Začíná volbou geometrie a nastavitelnosti stroje, dále volbou pohonů. Následuje uvolnění a výpočet sil v uložení, návrh hřídelů a jejich kontrola vůči meznímu stavu pružnosti a únavy, výpočet životnosti ložisek a kontrola pera na otlačení. Nakonec se věnuji rámu stroje a jeho ovládání.

Výstupem této práce je také 3D model rotačního tabletovacího lisu, výkres sestavy, výkresy hřídelů a kusovník.

## 2.Rešerše

### 2.1 Tabletování partikulárních materiálů

#### 2.1.1 Partikulární látky

Partikulární látky jsou složeny se vzájemně se dotýkajících částic pevné fáze. Mezi částicemi se mohou nacházet fáze tekuté (kapalně či plynné).

#### Sypný úhel

Sypný úhel charakterizuje sypkost (tekutost materiálu).

Pokud je materiál nasypáván z jednoho místa, vytvoří se typický symetrický kužel. Vzhledem k postupnému vytváření sypného kužele je úhel mezi jeho površky a vodorovnou rovinou označován jako statický sypný úhel (klidový).

Ve skutečnosti reálný sypký materiál nemá v celém objemu konstantní vlastnosti, proto i statický sypný úhel se pohybuje vždy v určitém rozmezí.

Sypný úhel se může změnit i dlouhodobém skladování materiálu v důsledku změny vlastností, vnitřní struktury, konsolidace, k místní nerovnováze apod.

#### 2.1.2 Aglomerace (Spojování částic partikulárních látek)

V zásadě se jedná o vytvoření produktu o větší velikosti částic, případně požadovaného tvaru, než má výchozí surovina.

#### Úprava surovin aglomerací pro zlepšení technologických operací

- Lepší: průdušnost, životní prostředí a možnost automatizace provozu
- Snadnější: manipulace
- Nižší: zanášení, úlet prachových částic, nebezpečí exploze, obtíže spojené s čištěním

#### Úprava konečného aglomerací produktu

Výrobky lze upravit a tím zlepšit jejich vlastnosti např. odstraněním vlhkosti, tvarováním, úpravou povrchu atd. Dosažení požadované velikosti konečných aglomerátů (např. tablet) s ohledem na její další využití.

- Snadnější: dávkování, manipulace
- Lepší: mechanické, strukturní, vzhledové vlastnosti
- Nižší: opotřebení povrchu produktu i případných zařízení

#### Základní vlastnosti aglomerovaných částic

- Geometrické: velikost a tvar nově vzniklých částic a jejich frakční složení.
- Mechanické vlastnosti: pevnost a rozpojitelnost
- Chemicko-inženýrské parametry: mezerovitost, objemová (sypná) hmotnost, povrchové vlastnosti, otěruvzdornost a další.

**Velikost** aglomerátu závisí na dalším zpracování a využití. Běžně uváděné rozmezí pro velikost aglomerátů je od 0,5 do 70 mm.

**Tvar** aglomerátu je odvozen od výrobního postupu aglomerace. Mohou být kulové (vzniklé např. mísením), válcové (např. vytlačováním), izometrické pravidelně



nepravidelné granule (vzniklé granulací) a tvarově definované, kam se řadí tablety a brikety (vznikají lisováním do forem).

**Pevnost** aglomerátů lze hodnotit dvěma způsoby

1. Měření individuální pevnosti – pevnost jedné aglomerované částice
2. Měření kolektivní pevnosti - pevnost při společném namáhání, provozní pevnost partikulární látky.

Podle pevnosti aglomerátu rozeznáváme aglomeráty s vysokou pevností a aglomeráty se střední a nízkou pevností.

### 2.1.3 Tabletování

Je to tlaková aglomerace, která vytváří aglomeráty o vysoké pevnosti a jako tabletování se označuje ve farmaceutickém, chemickém a potravinářském průmyslu.

Tabletování je spojování jemného sypkého materiálu mechanickým lisováním vysokým tlakem do výlisků (tablet daného geometrického tvaru a rozměru).

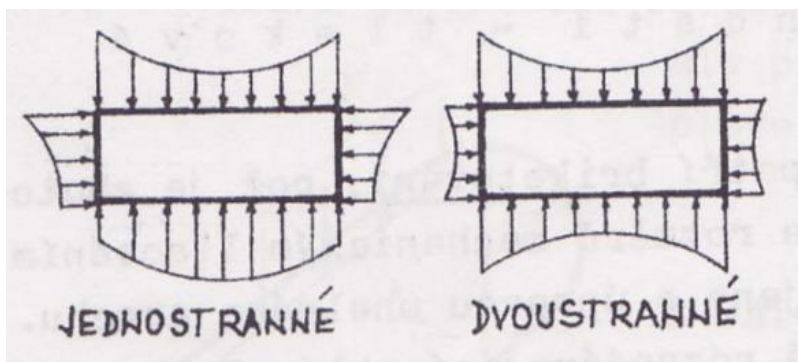
Předností tabletování jsou v rychlém a čistém zpracování sypké hmoty, ve větší přesnosti dávkování pomocí tablet, zmenšení obsahu plynů v produktu a tím i ve zlepšení některých fyzikálních vlastností.

Při zpracování sypkých hmot navazuje na dávkování. Nejčastějším tvarem tablet je válcový s rovnou nebo vypuklou základnou. Popřípadě se používají tvary obdelníkové či jiné.

**Tabletovatelnost** – schopnost sypkých materiálů vytvářet lisováním větší aglomeráty (tablety).

Závisí na granulometrickém složení suroviny, vlhkosti, teplotě a rychlosti lisování.

Podstatné pro výrobu tablet je i to, zda lisování probíhá jednostranně (pomocí dolního nebo horního razníku) nebo dvoustranně (pomocí obou razníků současně). Průběh tlaků:



Obrázek 1 Průběh tlaků

**Stlačitelnost** – schopnost materiálu snižovat objem při stlačování.

**Lisovatelnost** – schopnost materiálu utvořit při stlačování výlisek o jisté pevnosti.

## **Fáze tabletování**

**Přeuspořádání částic** – relativně velké stlačení za malého tlaku. Vzájemný pohyb částic, tření, vyplňování mezer, perkolace.

**Deformace v místech kontaktu** - zvyšuje celkovou plochu kontaktu materiálů a vytváří možnost vzniku spojení. Při aplikaci tlaku dochází k elastické, plastické a fragmentační deformaci. Plastická deformace nastává při dosažení meze kluzu (mez trvalé deformace).

**Fragmentace** - usnadňuje další zhutnění a vytváří nový povrch dostupný pro vznik spojení. K fragmentaci původních částic může docházet při dosažení meze pevnosti materiálu.

**Spojování** – jsou různé teorie spojení.

*Mechanická teorie* – dochází k mechanickému zaklesnutí částic.

*Intermolekulární teorie* – dochází k vytvoření interakcí mezi molekulami na površích částic (např. van der Waals).

*Teorie kapalného filmu* – na místech lokálních kontaktů je velmi vysoký tlak, který usnadní rozpuštění/tání složek v těchto místech.

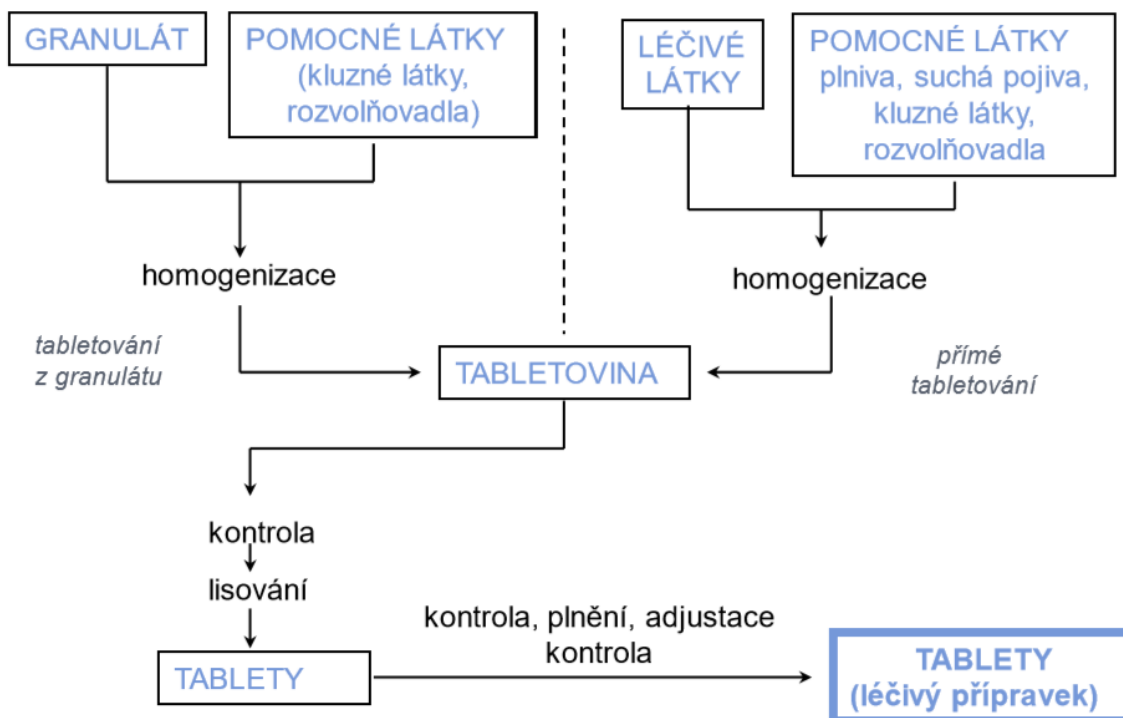
*Perkolační teorie* - při rostoucím zhutňování může dojít ke skokové změně vlastností výlisku = perkolační práh. Perkolačního prahu se dosáhne při vytvoření propojené struktury jednoho z materiálů.

**Deformace pevného tělesa** - zhutňování, úbytek pórovitosti po dalším zvýšení tlaku po vzniku tablety.

**Dekomprese** - zpětná elastická deformace, které dojde při snížení tlaku. Vyvolá v tabletě napětí, kterému musí tableta odolat. Napětí se uvolní ve formě plastické deformace tablety nebo fragmentace tablety.

**Vysouvání tablet** – dokud je tableta v matrici, je jí zabráněno radiálně expandovat a expanduje jen axiálně. Při vysouvání toto omezení postupně mizí, což může vést k rozpadu tablet (vysunutá část tablety je širší než část tablety v matrici).

**Tabletovačky** – zařízení pro tabletování. Tablety ve farmacii se zhotovují lisováním s přísadou pojiva (např. škrobové pojivo). Hlavním faktorem ovlivňujícím tvorbu a pevnost tablet jsou přitažlivé síly. Proto lze tabletovat jen malé částice.



Obrázek 2 Tabletování

Tabletovat lze buď z granulátu nebo za pomoci přímého tabletování.

Granulát lze připravit buď mokrou nebo suchou granulací.

### Mokrý granulace

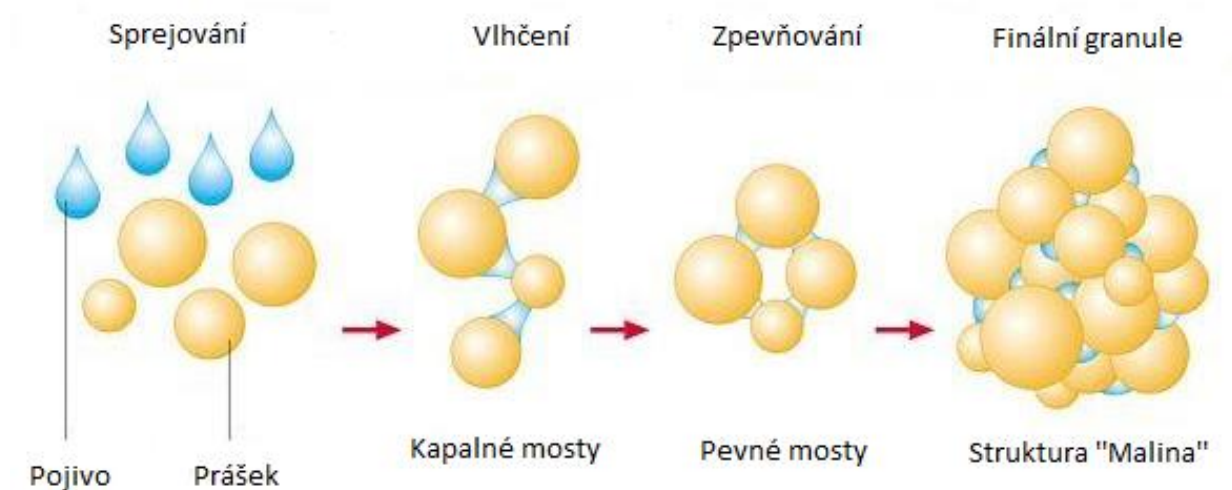
Skládá se z pěti kroků.

1. Vážení a míchání – odměření všech potřebných látek a jejich následné smíchání pro vytvoření jednotné směsi prášků.
2. Přidání pojiva – získání směsi vlhké hmoty.
3. Mokrý prosévání – vlhký prášek se prosévá na granule nebo pelety.
4. Sušení vlhkých granulí – k sušení lze použít různé typy sušiček se standardním procesem sušení.
5. Granulace velikosti – přizpůsobení velikosti granulí za pomoci sítka o velikosti 14 až 20 ok. Granule se poté důkladně promíchají s dezinfekčním činidlem či lubrikantem a následně stlačí do tablet.

## Výhody

Snižuje množství prachu a riziko kontaminace. Postup nevhodný pro materiály citlivé na vyšší stlačitelnost léčiv. (nízké zachytávání vlhkost a termolabilní prostředí)  
vzduchu)  
Používá obvyklé pomocné látky.  
Velká řada kroků zpracování.  
Kulovější granule – lepší rychlost toku.  
Vyšší náklady.  
Zvyšuje rozpustnost léků.  
Během procesu lze ztratit některé aktivní farmaceutické látky. (Při přenosu z jedné jednotky na druhou)  
materiálu

## Nevýhody



Obrázek 3 Mokrý granule

## Suchá granule

Skládá se z pěti kroků.

1. Vážení – odměření odpovídající velikosti přísad. Účinné a pomocné látky musí být v jemně rozmělněné formě, pokud nejsou tak se musí zmenšit velikost částic.
2. Míchání – míchání všech ingrediencí v práškovém mixéru k získání jednotné směsi prášku. Přidání polovičního množství lubrikantů, ke zlepšení toku prášku a zabránění lepení stlačených prášků.
3. Komprese směsi – buď zhutňováním válečkem nebo technikou zužování. Proces předběžné komprese, ze které jsou získány kompakty tzv. Slimáci.
4. Prosévání a frézování slimáků – rozbití slimáků pomocí kladivového mlýnu nebo jakéhokoliv frézovacího zařízení. Výroba jednotlivých granulí.
5. Míchání s lubrikanty a dezintegrátory – přidání zbývajících extra-granulárních pomocných látek a lubrikantů, jako jsou kluzná a dezintegrační činidla. Jemné promíchání granulace s lubrikanty k dosažení jednotné směsi. Granule se následně stlačí do tablet.

### Výhody

Lepší míchání tablety. (nezahrnuje migraci) vybavení pro

Vyžaduje méně vybavení.

Nezahrnuje změnu morfologie léčiv. kontaminace.

Používá obvyklé pomocné látky.

Kratší doba dezintegrace. k prasknutí.

Snadné přizpůsobení procesu od vývoje po výrobu.

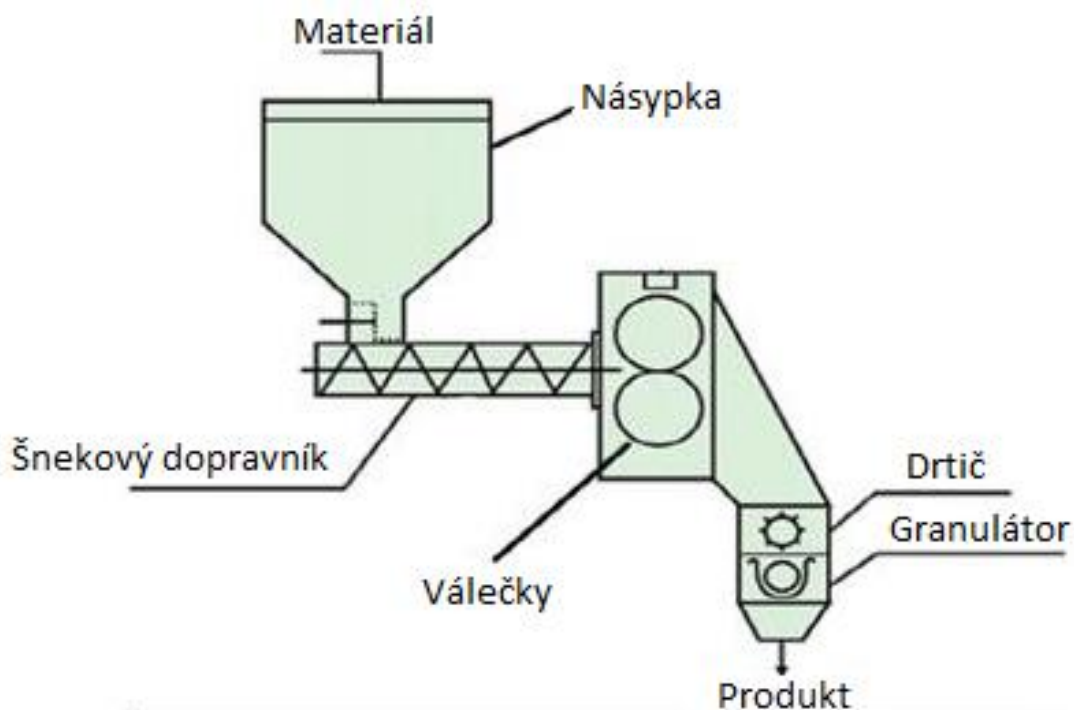
### Nevýhody

Těžké vybavení a speciální granulaci.

Velké množství prachu a riziko

Možné problémy s tokem prášku.

Měkčí tablety, a proto náchylné



Obrázek 4 Suchá granulace

### Přímé lisování

Má tři kroky.

1. Předběžné frézování – rozemletí účinných a pomocných látek.
2. Míchání – přidání maziv a smíchání látek pomocí mixéru.
3. Komprese – lisování směsi prášku do tablet pomocí zvoleného kompresního stroje.

## Výhody

Nižší náklady. (málo kroků výroby/zařízení)

Výroba tablet bez použití tepla a vlhkosti.  
způsobem

Mazací proces a míchání probíhá ve stejné  
nádobě.

Výroba tablet vyžaduje menší tlak.  
problémem

Rychlejší rozpouštění tablet.

Srovnání s ohledem na počet strojů.

## Nevýhody

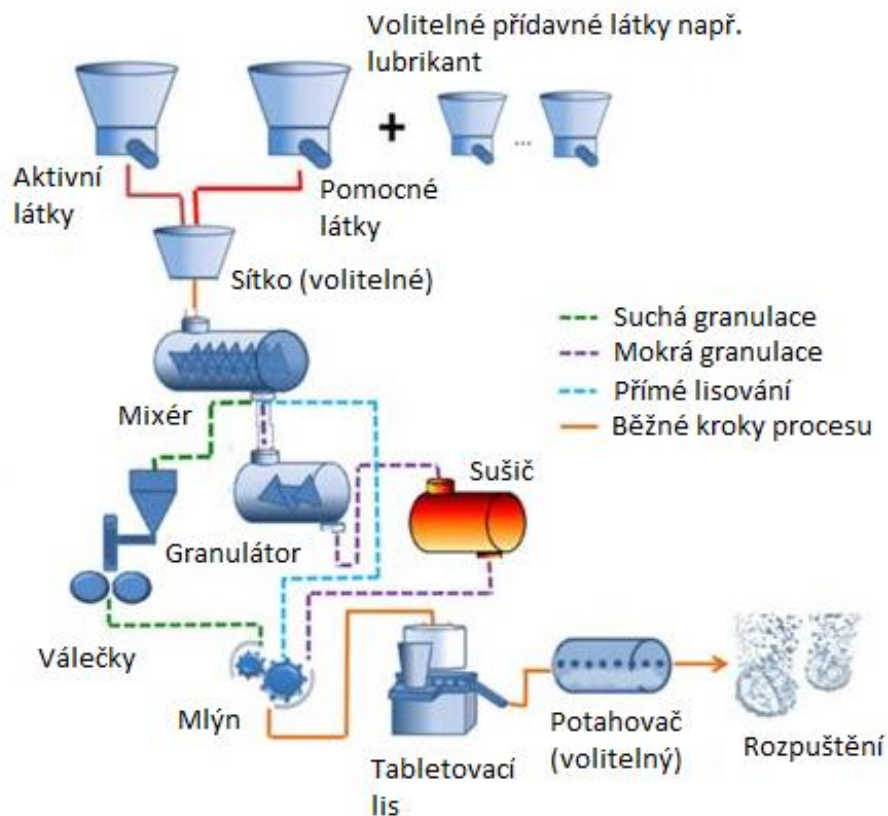
Speciální pomocné látky.

Nízký počet tablet, který lze tímto  
vyrobit.

Zahrnuje mnoho vad tablet.

Léky s vysokou dávkou jsou

pokud nejsou snadno stlačitelné.



Obrázek 5 Srovnání typů granulace z hlediska potřebných strojů

## 2.2 Kritéria pro vhodnou volbu tabletovacího lisu

### Počet raznic

Od 1 pro lisy s jednou matricí až po čísla překračující 100 raznic pro rotační tabletovací lisy.

### Typ nástroje

Všechny dostupné multifunkční lisy mohou mít buď typ B nebo D.

Existuje i typ A, který není určen pro razníky.

Typ B - maximální lisovací síla je 6,5 tuny.

Typ D - maximální lisovací síla je 10 tun.

### Maximální tlak stlačení

Stlačení se dělí na:

Hlavní stlačení, které dává tabletě výsledné parametry.

Před-stlačení, které jak z názvu vyplývá nastává před hlavním stlačením a je menší. Požívá se hlavně když jsou v lisu částice prachu, které spojí pomocí nižší síly, aby se nerozprašovaly. Může se aplikovat dvakrát s vyšším tlakem při druhém před-stlačením.

**Maximální průměr tablety**, jež je dán typem raznice.

**Maximální hloubka výplně** což je maximální výška prášku, kterou je raznice schopna být naplněna.

**Maximální šířka tablety**, jež je dána typem raznice.

**Maximální počet vyrobených tablet za hodinu**, což je ovlivněno rychlostí otáčení a počtem raznic.

## 2.3 Typy tabletovacích lisů

### 2.3.1 Manuální

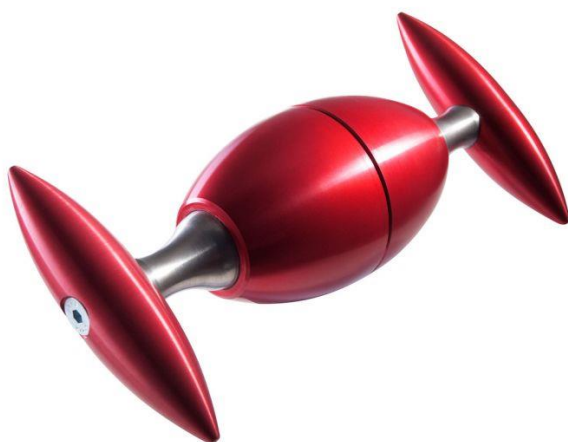
Jsem patří zejména ruční lis VICE, nebo stolní lis TDP 0 od firmy LFA. Tato firma nabízí další typy lisů, které se řadí do manuálních lisů a jdou tedy řídit ručně, všechny jsou však vybaveny motorem a ručně se budou řídit jen zřídka.

#### VICE

Jeho největším lákadlem je velmi nízká cena, jednoduchost použití, solidní konstrukce, nízká hmotnost a s tím spojená přenosnost.

Schopnost vyrobit tabletu s průměrem 2 až 22 mm libovolného tvaru.

Pro lisování tablet produkuje 20 kN. Jejím hlavním záporem je však možnost vyrobit pouze jednu tabletu najednou, což z něj činí lis dobrý jen pro testovací účely.



Obrázek 6 VICE složený



Obrázek 7 VICE rozložený



## TDP 0

Jedná se o lehký, kompaktní lis schopný lisování tablet pouze rotací kličky bez elektřiny. Nejedná se sice o stroj schopný produkční výroby tablet, je ale mnohonásobně rychlejší a pohodlnější než VICE.

Je schopný vyrábět tablety až o průměru 10 mm a to vyvinutím síly 3,1 kN.



Obrázek 8 TDP 0 zezadu



Obrázek 9 TDP 0 zepředu

### 2.3.2 Výstředníkové

Výstředníkový tabletovací lis je stroj ke stlačení prášku do tablet, které jsou jednotné svou velikostí, tvarem a hmotností. Stroj je určen pro produkci menšího množství tablet pro řadu použití od kosmetiky a lékařství až k čistícím produktům. Na rozdíl od větších výrobních strojů je vhodný pro výrobu malého množství tablet jednoduchého tvaru. Hlavním výhodou těchto strojů je univerzálnost a nízká cena. Řadí se sem již zmíněný TDP 0 a TDP 5 od firmy LFA.



Obrázek 10 TDP 5

## **Základní součásti**

**Násypka** – drží granule ke stlačení. Práškový materiál za pomoci gravitace padá z násypky přes plnicí botku do matrice.

**Plnicí botka** – vede práškový materiál z násypky do matrice a po vysunutí stlačené tablety ji odsune do sběrače.

**Matrice** – poskytuje formu, která dává stlačenému materiálu jeho požadovaný tvar. Základna matrice je tvořena dolním razníkem a horní razník se snižuje na volný prášek a stlačuje ho.

**Horní a dolní razníky** – horní razník poskytuje sílu komprese, spojující granule do tablety. Dolní razník slouží jako základna matrice a na konci fáze je zvednuta pro vysunutí tablety.

**Vodící dráha** – mechanické kolo s drážkami, které vede pohyb obou razníků.

**Regulátor kapacity** – reguluje hloubku volného prášku v matrici, pomocí změny výšky dolního razníku.

**Regulátor vysunutí** – reguluje dolní razník, aby když se zvedne na konci komprese byl razník v jedné rovině s matricí a tím umožnil odsunutí tablety botkou do sběrače.

**Řídící kolo** – vede pohyb horního a dolního razníku a plnicí botky.

## **Fáze výroby**

### **Plnění**

1. Horní vodící dráha vysune horní razník z matrice, dolní razník je nízko v matrici tak, aby prášek padal z násypky a naplnil otvor tvořen matricí a dolním razníkem.
2. Dolní razník je potom nastaven podle požadované hmotnosti materiálu a když se zvedá je přebytečný prášek je vysunut z matrice.

### **Komprese**

3. Dolní razník zůstává na místě a horní razník se sníží do matrice stlačujíc prášek do tablety.

### **Vysunutí**

4. Horní razník se pak vysunuje a současně dolní razník svým pohybem zvedá zformovanou tabletu z matrice. Tableta je pak odsunuta plnicí botkou.
5. Celý cyklus je následně zopakován.

### 2.3.3 Rotační tabletovací lisy (RTP)

Jedná se o vysokorychlostní tabletovací lis s různým počtem matric. Když rotují kolem válce, razníky přicházejí do kontaktu s vodícími drahami, které ovládají vertikální polohu každého razníku. Tablety produkované RTP jsou stlačeny do jednotné velikosti, tvaru a váhy, a to za vysoké rychlosti. RTP jsou tedy preferovaným typem lisu pro hromadnou výrobu tablet. Hlavními výrobci jsou LFA, Romaco, KIKUSUI SEISAKUSHO, Vanguard Pharmaceutical Machinery, kg-pharma a PTK.

#### **Základní součásti - segment zpracování**

**Násypka** – drží materiál ke stlačení, posílá ho do matric a odvádí tablety po stlačení. Existují různé druhy. Bez ohledu na tvar násypky by měla umožňovat snadný tok surovin do komůrky pro lisování tablet neboli tedy mít optimální úhly toku, zejména v situacích, kdy je téměř nemožné modifikovat složení. Pro výrobu násypky se používá nerezová ocel, která zaručuje bezpečnost a hygienu farmaceutických výrobků. Na základě konstrukce lze násypku plnit ručně nebo pomocí automatizovaných systémů. Násypky mohou mít vibrační tyče pro zvyšování toku produktu.

**Podavač** – skládá se ze dvou zásadních částí.

*Podavač podavače* – kanál, kterým prochází materiál z násypky do systému matrice. Pro výrobu se používá nerezová ocel 316L, která zajišťuje, že se prášek nepřilne k povrchu.

*Podávací rám* – zajišťuje konstantní a přesné dodávání materiálu do lisovacího systému.

#### **Typy podavačů**

*Gravitační* – nejjednodušší, používá se u lisů s nízkou rychlostí rotace.

*Mechanický* – existuje několik druhů provedení, které se od sebe liší zejména počtem lopatek.

*Lopatky* navádějí prášek do matric a pomáhají udržovat prášek pospolu.

**Tabletová věžička** – rotační část mechanismu, držící matrice a horní a dolní razníky. Skládá se ze dvou částí.

**Horní a dolní revolverové hlavice** – část hlavy, která drží horní a dolní razníky.

**Stůl matric** – část revolverové hlavice, která drží matrice.

**Horní a dolní vodící dráha** – jak hlava rotuje, razníky se pohybují nahoru a dolů, vedeny upevněnou vodící dráhou. Vodící dráha ovládá plnění práškem, kompresi i vytlačení tablet.

**Matrice** – zastávají funkci formy pro k sobě se přibližující horní a dolní razníky, čímž udávají velikost a tvar tablet. Matrice a razníky musí mít následující atributy:

- Čistý dojem na každém úderu
- Zabrána ničení a štěpení tablet
- Antikorozní ochrana
- Nepřílnavá úprava

Mezi další klíčové vlastnosti patří:

- Úhel zužování, usnadňující únik přebytečného vzduchu a zároveň minimalizující třecí sílu.
- Další technické specifikace se skládají ze zkosení, vrtání, výšky a průměru matrice.

**Horní a dolní razníky** – stlačují materiál v matrici. Jejich konstrukce a tvar mají přímý vliv na kvalitu tablet. Jsou vystavovány pracovními podmínkami extrémně vysokému tlaku a abrazivnímu prostředí. Proto potřebují vysoce kvalitní materiál a nejlépe se speciální vrstvou, aby se zabránilo opotřebením a lepením. Horní razníky postupují svisle, dovnitř a ven z matrice. Dolní během celého procesu komprese zůstávají v matrici.

**Regulátor kapacity/Jednotka kontroly hmotnosti** – umožňuje nastavování pozice dolního razníku, aby bylo dosaženo požadovaného množství prášku, pro každou výplň. Jednotka kontroly hmotnosti, která je snižována materiálem v matrici, je zvedána regulátorem kapacity.

**Regulátor vysunutí/Výsuvná dráha** – umožňuje nastavení dolního razníku tak, aby jeho horní povrch byl ve stejné výšce jako povrch matrice. Tableta pak může být bezpečně odsunuta. Je umístěna bezprostředně za hlavními kompresními válci.

**Kompresní válce** – většina rotačních tabletovacích lisů má dvě sady válců.

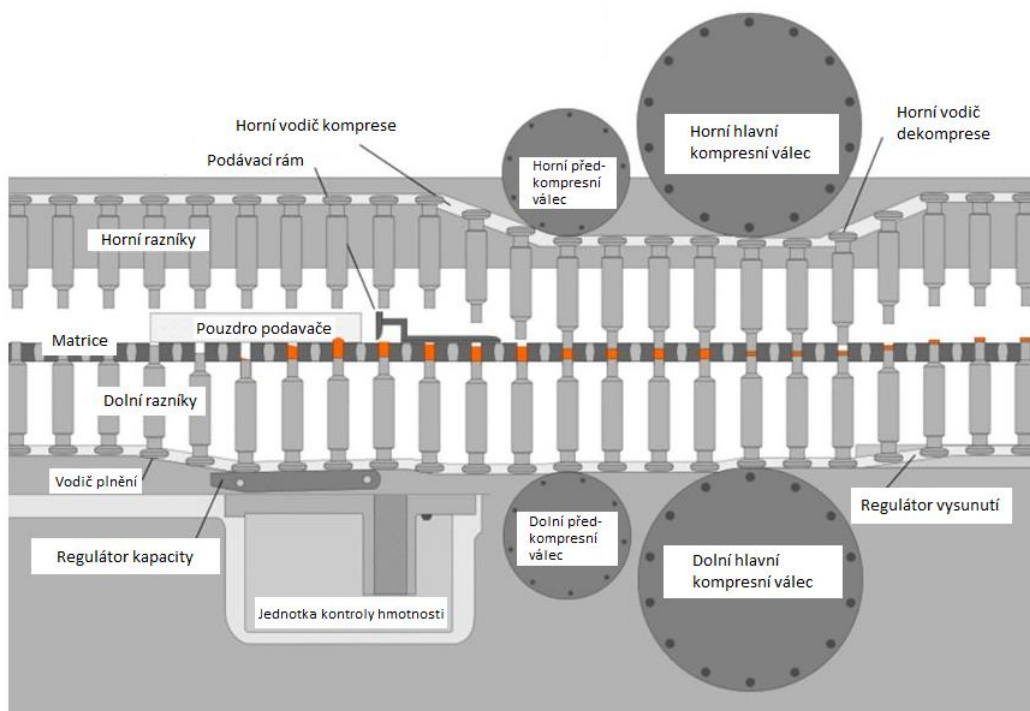
*Před-kompresní válce* – vyvíjejí malé množství síly na horní a dolní razníky. Jejich klíčovou úlohou je eliminovat vzduch, který může být uvnitř práškových granulí nebo matrice.

*Hlavní kompresní válce* – vyvíjejí předvolené množství konečné síly stlačení pro výrobu tablet. Tato síla je vždy větší než síla od před-kompresních válců. Válce musí během celého procesu komprese být stabilní a bez vibrací, pro konzistenci velikosti a tloušťky vyrobených tablet.

**Sběrná čepel** – nainstalovaná těsně za krytem podavače. Její funkce je vychýlení tablet do vypouštěcího žlabu.

**Vypouštěcí žlab** – směřuje hotové tablety do sběrného koše.

**Řídící kolo** – umožňuje manuálně nastavovat pohyb horního a dolního razníku a botky.



Obrázek 11 Hlavní komponenty RTP

### Další klíčové komponenty

**Ovládací panel** – monitoruje každý prvek operace tabletování. Většina lisů používá systémy Allen-Bradley nebo SIEMENS PLC.

**Těsnicí systém** – minimalizuje nutnost neustálého čištění a možnou kontaminaci.

**Elektrické motory, převody a řemeny** – pro dosažení požadovaného pohybu je nutné integrovat elektrické, hydraulické a mechanické systémy. Na základě pohybu, který chceme vytvořit, může stroj používat indukční motor nebo servomotor. Servomotor pro svou snadnou regulaci pro dosažení nejvyšších standardů přesnosti jako 0,01 mm se hodí více pro plnicí systém. Použití synchronních motorů pro kompresní fázi poskytuje lepší rychlost a kontrolu. K přenosu tohoto pohybu do jiných částí lisu se může použít směs řemenů a ozubených kol. Motor musí být schopen spustit stroj bez zatížení a udržet ho v chodu i při maximálním zatížení.

**Mazací systémy** – k zábraně opotřebení způsobenému třením. Většina RTP má centrální mazací systém, který olejuje pohybové pohyblivé komponenty kompresního stroje.

**Jednotka hydraulického čerpadla** – pomáhá udržovat konstantní přetlak a hlavní tlak, zajišťující hladký a přesný proces komprese tablet.

**Ochranná jednotka** – ochrana před přetížením, aby se zabránilo možnému zničení, ke kterému může dojít na nástrojovém systému stroje. Automaticky zastavuje zařízení při přetížení.

## Nástrojový systém

Velikost, tvar a identifikační značky tablet jsou určeny nástrojovým systémem neboli razníky a matricemi. Nástroje musí splňovat specifické požadavky pro jednotnost dávek, efektivitu produkce a estetický vzhled.

S ohledem na razníky a matrice byla stanovena standardizace rozměru nástrojů, aby se minimalizoval počet náhradních dílů a umožnila se zaměnitelnost mezi tabletovacími lisami. Ve většině případů je k dispozici specifický tabletovací stroj s různými věžičkami, aby se standardizovalo obrábění s výrobním zařízením. Nástrojové systémy má ke koupi v nabídce například firma LFA.

Globálně existují dva uznávané standardy pro nástroje komprese tablet: Norma EU a norma TSM.

### Standardy TSM

TSM je akronym pro „Tablet Specification Manual“ neboli „Příručky ke specifikaci tabletů“, jež je exkluzivní pro Spojené státy Americké, kde je rozšířena a uznávána.

Zavedena Americkou lékárnickou asociací (APhA).

### Norma EU

Evropská norma je známá jako Euronorm nebo EU standart.

Nejoblíbenější konfigurace nástrojů používaná mimo USA.

### Tabulka dimenzí standardizovaných nástrojových systémů.

Nástrojový systém	Průměr Razníku (mm)	Průměr matrice (mm)	Délka razníku (mm)	Max. velikost kulaté/oválné tablety
B	19,00	30,16	133,60	16/19
D	25,40	18,10	133,60	25/25
BB	19,00	24,00	133,60	13/14
DD	25,40	30,16	133,60	19/19

## Fáze výroby - příprava

- Horní a dolní razníky společně s matricemi by měly být umístěny a upevněny v RTP.
- Plnicí rám a násypka by měla být připravena a jednotka kontroly hmotnosti by měla být nastavena pro požadovanou hmotnost a tvrdost tablet.
- Násypka je posléze naplněna směsí tabletovacího prášku či granulovanou formulí.

## Fáze výroby - cyklus výroby

### Plnění

- Při zapnutí stroje je směs prášku dovedena násypkou do plniče, který plní prostor s matricemi.
- Plnicí rám směs udržuje a umísťuje nad dráhu matric.
- Jak se hlava otáčí, matrice se jedna po druhé umísťují pod plnicí rám, kde se plní.

### ***Třídění***

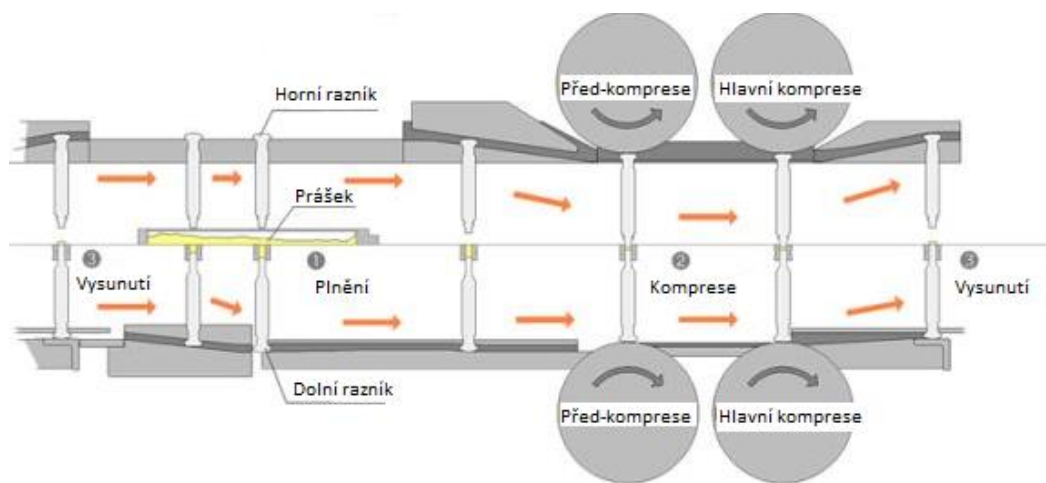
- Odstranění přebytečného materiálu z okolí matric. Tato fáze zajišťuje přesné množství materiálu pro kompresi do tablety. Materiál v matici snižuje dolní razník, který je zvedán přes regulátor kapacity.

### ***Kompresa***

- Materiál se poté postupně stlačuje horními a dolními razníky do matric.

### ***Vysunutí***

- Hotové tablety jsou dolním razníkem vysunuty a čepelí odsunuty.
- Celý cyklus se opakuje.



Obrázek 12 Fáze výroby na RTP

### 3. Konstrukční návrh

Mým úkolem bylo navrhnout rotační tabletovací lis, který bude schopen produkovat až 200 000 tablet za hodinu lisovací silou 40 kN na před-lisu a 80 kN na hlavním lisu.

#### 3.1 Věž

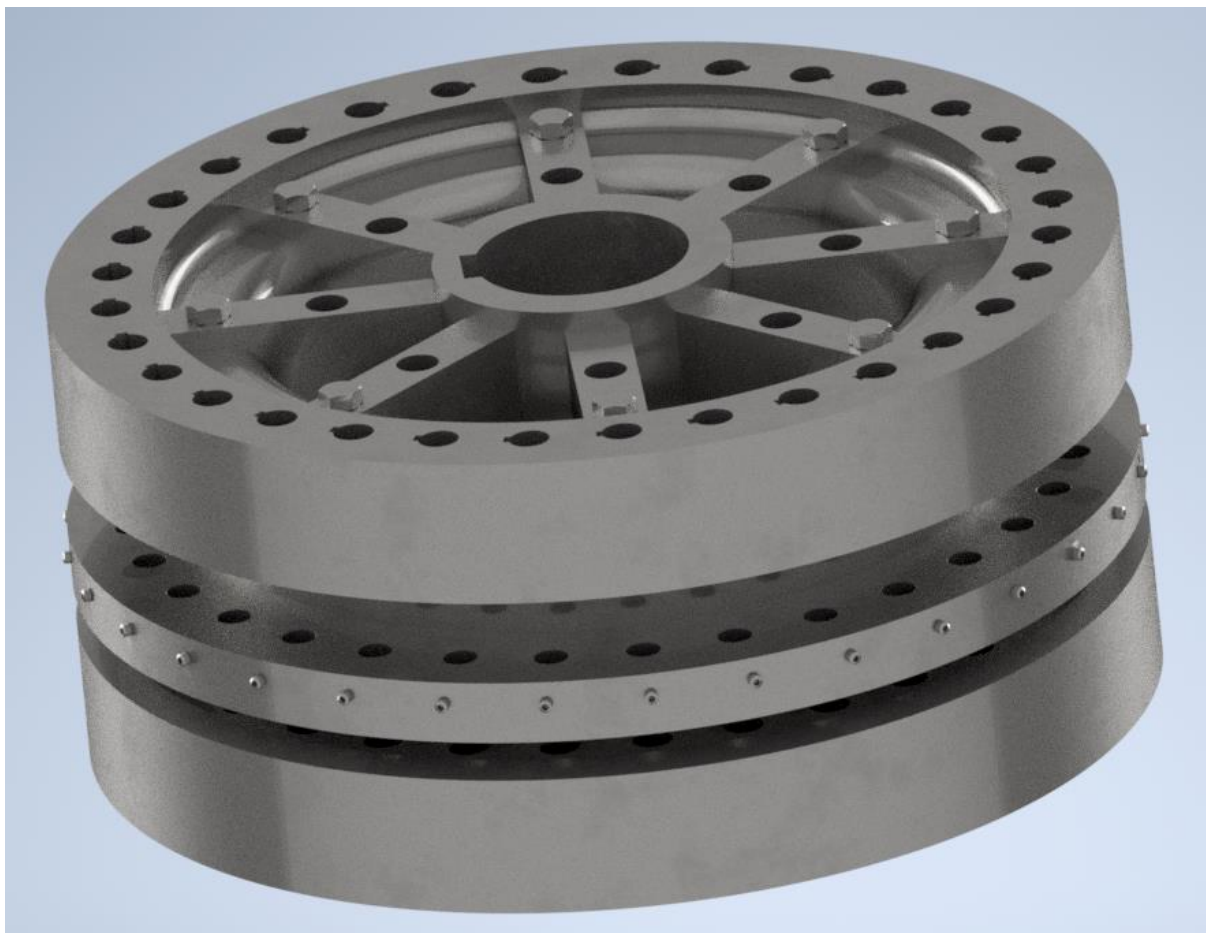
Pro určení rozměrů věže, bylo nutné si zvolit typ nástroje, počet pracovních stanic a průměry lisovacích válců. Jako nástroj jsem si zvolil typ EURO B a počet pracovních stanic 32.

Jako průměr roztečné kružnice matric jsem si zvolil 440 mm.

Věž se skládá ze 3 hlavních částí a to horní, dolní a pracovní. Všechny části jsou spojeny za pomoci osmi šroubů AS 1111 M12x160.

Horní část je za pomoci osmi šroubů CNS 3932 M14x110 spojena k hřídeli.

Pracovní část je vyrobena z korozi-vzdorné oceli DIN 1.4307. Každá matrice v ní umístěná je zajištěna šroubem AS 1421 M6x20.



Obrázek 13 Věž



### 3.2 Vodící Dráhy

Pro určení rozměrů, bylo nutné si zvolit nastavitelnost výšky plnění, na před-lisu a na hlavním lisu.

Výšku plnění jsem si zvolil 10 až 16 mm, na před-lisu 4 až 10 mm a na hlavním lisu 1 až 7 mm.

Jsou zde celkem dvě vodící dráhy, které jsou vyrobeny z bronzu pro snížení tření.

#### Horní Vodící Dráha

Skládá se ze čtyř hlavních částí:

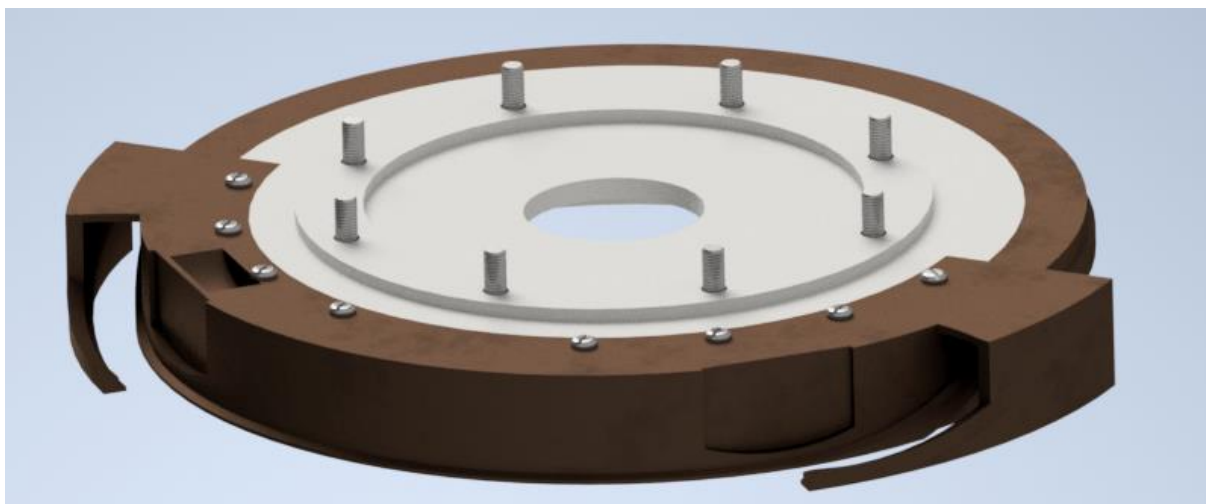
**Vložka** – Slouží k vkládání razníku na vodící dráhu.

**Klesání** – Vede razníky pod Před-lisovací kolo.

**Stoupání** – Vede razníky zespod hlavního lisovacího kola.

**Rovina** – Je rozložena na dvě části.

Klesání a stoupání je spojeno k podložce horní vodící dráhy za pomoci osmi šroubů AS 1427 M6x35 a zbytek dráhy je sní spojen celkem devíti šrouby AS 1421 M10x50.



Obrázek 14 Horní vodící dráha

#### Dolní Vodící Dráha

Skládá se z pěti hlavních částí:

**Vložka** – Slouží k vkládání razníku na vodící dráhu.

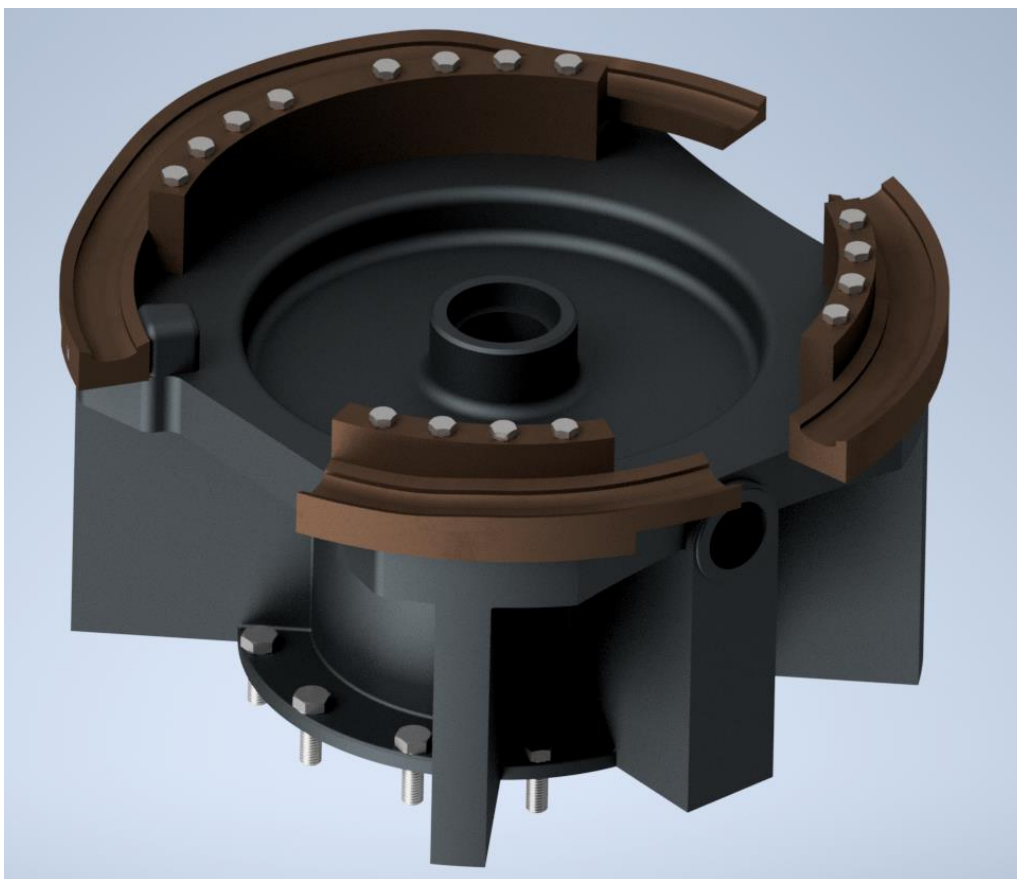
**Klesání** – Vede razníky k oblasti plnění.

**Stoupání** – Vede razníky k čepeli odstraňující tablety ze systému.

**Předkolní vedení** – Vede razníky z oblasti nastavení výšky na před-lisovací kolo.

**Mezikolní vedení** – Vede razníky z před-lisovacího kola na hlavní lisovací kolo.

Všechny části jsou spojeny celkem šestnácti šrouby AS 1110 M8x70 k podstavci.



Obrázek 15 Dolní vodící dráha

### 3.3 Lisovací válce

Vnější průměr vedlejších (před-lisovacích) válců jsem si zvolil 110 mm a hlavních lisovacích válců 220 mm. Válce jsou vyrobeny z korozi-vzdorné oceli DIN 1.4307.

Vnitřní průměry jsem si zvolil podle ložisek s předem vypočítanou životností pro vedlejší válce 50 mm a 80 mm pro hlavní lisovací válce.

### 3.4 Volba motoru a převodovky pro hlavní pohon

Pro určení výkonu elektromotoru, bylo potřeba spočítat moment potřebný k rozběhu stroje.

$$M = M_{stat} + M_{dyn}$$

- $M_{stat}$  je moment potřebný k překonání pasivních odporů. Konkrétně moment vzniklý třením razníků po vodících drahách a valivým odporem při pohybu razníků po lisovacích válcích. Hmotnost razníků jsem zjistil za pomoci programu Inventor.
- $M_{dyn}$  je moment potřebný k rozběhu stroje. Stroj se má rozběhnout na 107,4 otáček za minutu za jednu sekundu. Moment setrvačnosti I vzhledem k ose rotace stroje jsem znovu zjistil za pomoci programu Inventor.

- $m_{HR} = 0,295 \text{ kg}$  je hmotnost horního razníku.
- $m_{DR} = 0,28 \text{ kg}$  je hmotnost horního razníku.
- $F_{v1}$  je síla vzniklá valivým odporem na hlavním lisovacím válci.
- $F_{v2}$  je síla vzniklá valivým odporem na vedlejším lisovacím válci.
- $F_T$  je třecí síla.
- $f$  je součinitel statického tření
- $R$  je poloměr roztečné kružnice matric

$$m = (m_{HR} + m_{DR}) \cdot 32 = (0,295 + 0,28) \cdot 32 = 18,4 \text{ kg}$$

$$F_{v1} = \frac{F \cdot 0,05}{110} = \frac{80000 \cdot 0,05}{110} = 36,36 \text{ N}$$

$$F_{v2} = \frac{F \cdot 0,05}{55} = \frac{40000 \cdot 0,05}{55} = 36,36 \text{ N}$$

$$F_v = F_{v1} + F_{v2} = 36,36 + 36,36 = 72,72 \text{ N}$$

$$F_T = m \cdot g \cdot f = 18,4 \cdot 9,81 \cdot 0,18 = 32,49 \text{ N}$$

$$M_T = F_T \cdot R = 32,49 \cdot 0,22 = 7,15 \text{ Nm}$$

$$M_v = F_v \cdot R = 72,72 \cdot 0,22 = 16 \text{ Nm}$$

$$M_{stat} = M_v + M_T = 16 + 7,15 = 23,15 \text{ Nm}$$

$$M_{dyn} = I \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{i} = 8 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 1,74}{1} = 88 \text{ Nm}$$

$$M = M_{stat} + M_{dyn} = 23,15 + 88 = 111,15 \text{ Nm}$$

Mezi motorem a hnanou hřídelí se nachází převod pomocí ozubeného řemene a šneková převodovka. Účinnost převodu ozubeným řemenem je 0,96. Šneková převodovka má účinnost 0,89.

typ zatížení	počet sepnutí za hodinu	průměrný denní provoz [hod]			
		<2	2÷8	9÷16	17÷24
normální rozběh bez rázu, malá urychlovací hmota (ventilátory, zubová čerpadla, montážní pásy, dopravní šneky, míchačky tekutin, pínici a balicí stroje)	<10	0,8	1	1,2	1,3
rozběh, s mírnými rázy, nerovnoměrný provoz, střední urychlovací hmota (transportní pásy, výtahy, navijáky, hnětací míchací stroje, dřevobráběcí, tiskařské a textilní stroje)	<10	1,0	1,3	1,5	1,6
	10÷50	1,2	1,4	1,7	1,9
	50÷100	1,3	1,6	2,0	2,1
	100÷200	1,5	1,9	2,3	2,4
nerovnoměrný provoz, silné rázy, velká urychlovací hmota (míchačky betonu, sací čerpadla, kompresory, buchary, válcová stolice, přepravníky pro těžké zboží, ohybači a lisovací stroje, stroje se střídavým pohybem)	<10	1,2	1,5	1,8	2,0
	10÷50	1,4	1,7	2,1	2,2
	50÷100	1,6	2,0	2,3	2,5
	100÷200	1,8	2,3	2,7	2,9

Obrázek 16 Tabulka součinitele S

Pro určení potřebného výkonu bylo ještě potřeba určit provozní součinitel S, pro garantování provozní bezpečnosti při daných provozních podmínkách. Počet sepnutí za hodinu bude menší jak 10 průměrný provoz bude zhruba 9 až 16 hodin. Podle typu zařízení spadá do třetí kategorie. Provozní součinitel S tedy roven 1,8.

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot M \cdot S}{\eta_r \cdot \eta_s} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1,74 \cdot 111,15 \cdot 1,8}{0,96 \cdot 0,89} = 2,560 \text{ kW}$$

Provozní hodnoty při jmenovitém výkonu																Hliníková řada 1LE1003			m <sub>IM B3</sub>	J	Momentová třída		
P <sub>N</sub> 50 Hz	P <sub>N</sub> 60 Hz <sup>1)</sup>	Vel- kost	n <sub>N</sub> 50 Hz	M <sub>N</sub> 50 Hz	IE třída	η <sub>N</sub> 50 Hz	η 3/4	η 2/4	cos φ <sub>N</sub> 50 Hz	I <sub>N</sub> 50 Hz	M <sub>A</sub> 400 V	I <sub>A</sub> 1 <sub>N</sub>	M <sub>K</sub> 1 <sub>N</sub>	L <sub>GBA</sub> 50 Hz	L <sub>WA</sub> 50 Hz	Provedení IE3 podle IEC 60034-30 Objednací číslo							
kW	kW		min <sup>-1</sup>	Nm		%	%	%		A							▲ Nový záznam	kg				kgm <sup>2</sup>	KL
<ul style="list-style-type: none"><li>Chlazení: vlastní chlazení (IC 411)</li><li>Účinnost: vysoká účinnost IE3 (Premium efficiency), servisní faktor 1,15 (SF uveden na výkonostním štítku)</li><li>Isolační systém: tepelná třída 155 (F), využití na tepelnou třídu 130 (B), ochrana krytem IP55</li></ul>																							
2-pólové: 3000 min <sup>-1</sup> při 50 Hz, 3600 min <sup>-1</sup> při 60 Hz <sup>1)</sup>																							
0,75	0,86	80 M	2850	2,5	IE3	80,7	82,0	81,5	0,86	1,56	2,6	6,2	3,0	60	71	71	1LE1003-0DA2	11	0,0011	16			
1,1	1,3	80 M	2885	3,6	IE3	82,7	82,7	81,7	0,85	2,25	2,8	7,4	3,8	60	71	71	1LE1003-0DA3	12	0,0013	16			
1,5	1,75	90 S	2910	4,9	IE3	84,2	84,5	83,5	0,86	3,00	2,7	8,1	4,2	65	77	77	1LE1003-0EA0	15	0,0021	16			
2,2	2,55	90 L	2920	7,2	IE3	85,9	86,8	86,1	0,88	4,2	2,6	8,3	4,0	65	77	77	1LE1003-0EA4	19	0,0031	16			
3	3,45	100 L	2920	9,8	IE3	87,1	87,1	86,1	0,88	5,6	2,8	8,0	4,3	67	79	79	▲ 1LE1003-1AA4	26	0,0054	16			
4	4,55	112 M	2950	12,9	IE3	88,1	88,1	87,1	0,89	7,4	1,9	7,5	3,9	69	81	81	▲ 1LE1003-1BA2	34	0,012	16			
5,5	6,3	132 S	2950	17,8	IE3	89,2	89,2	88,2	0,90	9,9	1,8	7,4	3,6	68	80	80	▲ 1LE1003-1CA0	43	0,024	16			
7,5	8,6	132 S	2950	24,3	IE3	90,1	90,1	89,1	0,92	13,1	1,9	8,3	3,9	68	80	80	▲ 1LE1003-1CA1	57	0,031	16			
11	12,6	160 M	2955	35,5	IE3	91,2	90,2	90,2	0,89	19,6	2,4	7,9	3,8	70	82	82	▲ 1LE1003-1DA2	75	0,053	16			
15	18	160 M	2960	48,4	IE3	91,9	91,9	90,9	0,87	27,0	2,7	8,7	4,3	70	82	82	▲ 1LE1003-1DA3	84	0,061	16			
18,5	22	160 L	2955	60,0	IE3	92,4	92,4	91,4	0,90	32,0	2,8	9,0	4,2	70	82	82	▲ 1LE1003-1DA4	94	0,068	16			
4-pólové: 1500 min <sup>-1</sup> při 50 Hz, 3600 min <sup>-1</sup> při 60 Hz <sup>1)</sup>																							
0,55	0,63	80 M	1440	3,6	-	81,3	82,0	80,2	0,78	1,25	2,1	5,9	3,1	53	64	64	1LE1003-0DB2	11	0,0021	16			
0,75	0,86	80 M	1450	4,9	IE3	82,5	82,3	80,0	0,75	1,75	2,7	7,1	3,9	53	64	64	1LE1003-0DB3	14	0,0029	16			
1,1	1,3	90 S	1440	7,3	IE3	84,1	84,6	83,5	0,78	2,4	2,9	6,9	3,6	56	68	68	1LE1003-0EB0	16	0,0036	16			
1,5	1,75	90 L	1445	9,9	IE3	85,3	85,9	84,9	0,80	3,15	2,6	7,2	2,7	56	68	68	1LE1003-0EB4	19	0,0049	16			
2,2	2,55	100 L	1465	14,3	IE3	86,7	86,7	85,7	0,83	4,4	2,1	7,6	3,6	60	72	72	▲ 1LE1003-1AB4	30	0,014	16			
3	3,45	100 L	1460	19,6	IE3	87,7	87,7	86,7	0,83	5,9	2,3	7,3	3,7	60	72	72	▲ 1LE1003-1AB5	30	0,014	16			
4	4,55	112 M	1460	26,0	IE3	88,6	88,6	87,6	0,82	7,9	2,4	7,1	3,7	58	70	70	▲ 1LE1003-1BB2	34	0,017	16			
5,5	6,3	132 S	1470	35,7	IE3	89,6	89,6	88,6	0,84	10,5	2,1	7,2	3,4	64	76	76	▲ 1LE1003-1CB0	64	0,046	16			
7,5	8,6	132 M	1470	48,7	IE3	90,4	90,4	89,4	0,84	14,3	2,4	7,4	3,5	64	76	76	▲ 1LE1003-1CB2	64	0,046	16			
11	12,6	160 M	1475	71,0	IE3	91,4	91,4	90,4	0,84	20,5	2,2	6,9	3,2	65	77	77	▲ 1LE1003-1DB2	83	0,083	16			
15	18	160 L	1475	97,0	IE3	92,1	92,1	91,1	0,82	28,5	2,5	8,5	3,8	65	77	77	▲ 1LE1003-1DB4	100	0,099	16			

Obrázek 17 Katalog motorů Siemens

Z katalogu motorů Simotics od firmy Siemens volím motor 1LE1003-1AB52-1AA4. Technické parametry:

$$N_N = 1460 \text{ min}^{-1}$$

$$M_N = 19,6 \text{ Nm}$$

$$P_N = 3 \text{ kW}$$

Z katalogu šnekových převodovek typu MRT-A od firmy TOS Znojmo volím převodovku RT 100A 10 FTRL.

Převodovka má převodový poměr 10.

Otáčky motoru půjde nastavit pomocí frekvenčního měniče SINAMICS V20 – 6SL3210-5BE23-0CV0 od firmy Siemens.

### **Převod ozubeným řemenem**

Převod je navržen za pomoci programu Inventor. Převod ozubeným řemenem 420H150 má převodový poměr 1,3 pro dosažení potřebných otáček.

$B = 38,1 \text{ mm}$  je šířka řemenu.

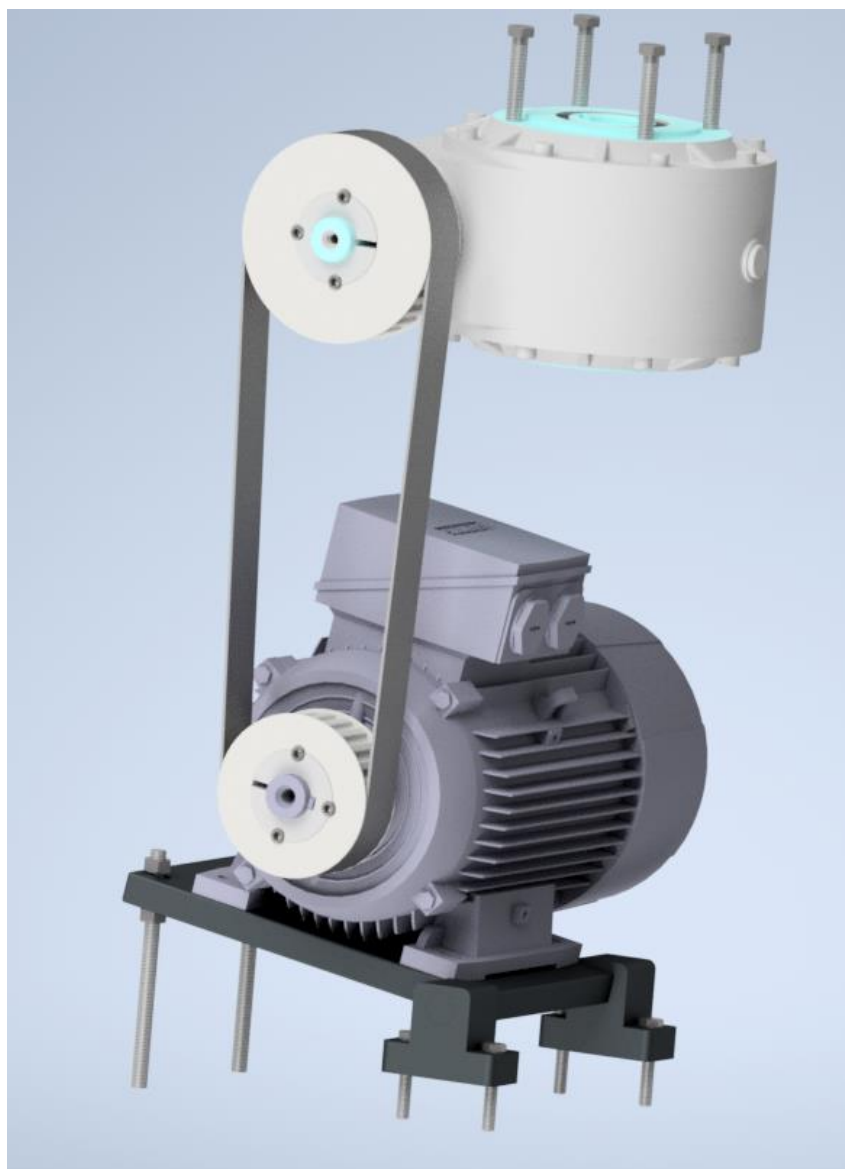
$Z = 84$  zubů je počet zubů řemenu.

$D_1 = 25 \text{ mm}$  je průměr hnací řemenice.

$D_2 = 32,5 \text{ mm}$  je průměr hnané řemenice.

Řemenice budou připevněny k hřídelům za pomoci matic Taper-Lock 1108 x 12,7.

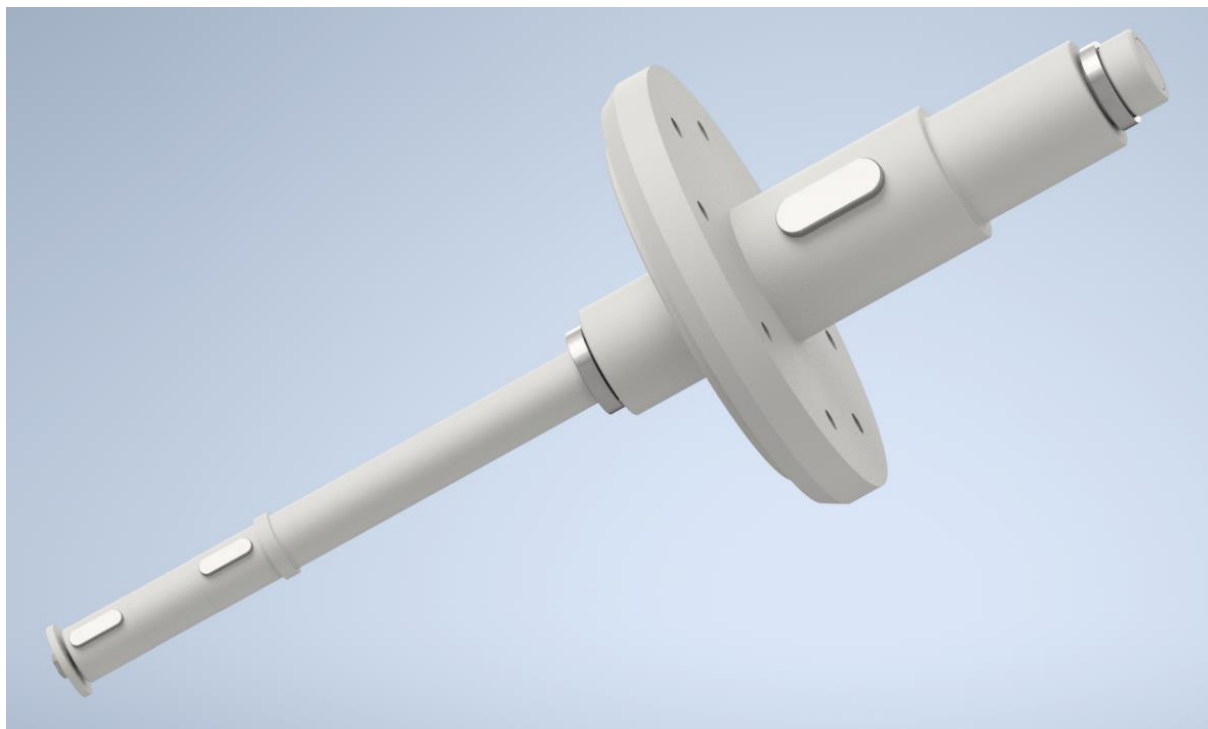
Napnutí řemenu bude dosaženo pomocí naklonění motoru posunutím matic.



*Obrázek 18 Hlavní pohon*

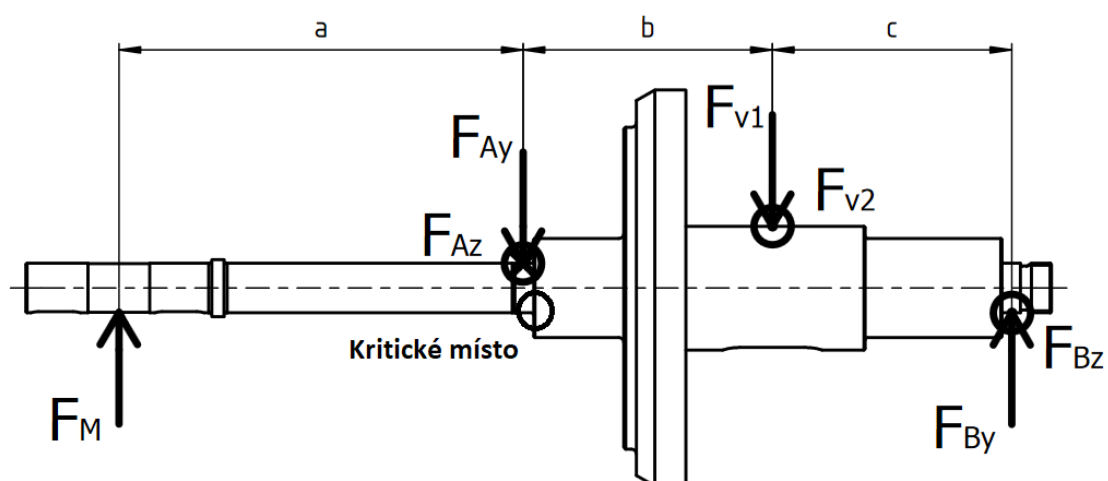
### 3.5 Hřídel Věže

Hřídel je vyroben z oceli 16 532.4.

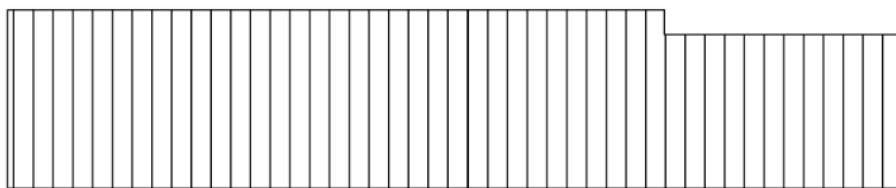


Obrázek 19 Hřídel věže

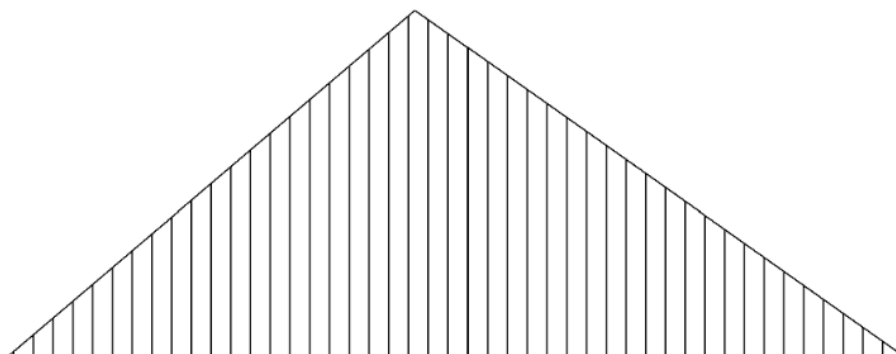
#### 3.5.1 Uvolnění a výpočet sil působících v ložiscích.



**M<sub>k</sub>**



**M<sub>oz</sub>**



**M<sub>oy</sub>**



- $F_M$  je síla, kterou působí motor na hřídel s věží.
- $F_A$  a  $F_B$  jsou síly působící v ložiscích.
- $l$  je osová vzdálenost šnekové převodovky.
- $a = 327,5 \text{ mm}$
- $b = 200,4 \text{ mm}$
- $c = 192,8 \text{ mm}$

$$F_M = \frac{M_K}{l} = \frac{254,8}{0,1} = 2548 \text{ N}$$

- Rovnice statické rovnováhy

$$\sum F_y = 0: -F_M + F_{Ay} - F_{By} + F_{v2} = 0$$

$$\sum F_z = 0: -F_{Az} - F_{v1} - F_{Bz} = 0$$

$$\sum M_{Bz} = 0: F_M \cdot (a + b + c) - F_{Ay}(b + c) - F_{v2}(c) = 0$$

$$\sum M_{By} = 0: F_{Az} \cdot (b + c) - F_{v1}(c) = 0$$

- Z rovnic statické rovnováhy zjistíme velikosti sil  $F_A$  a  $F_B$

$$F_{Ay} = 4652,42N \quad F_{By} = 2140,78N$$

$$F_{Az} = 17,83N \quad F_{Bz} = 18,53kN$$

### 3.5.2 Návrh hřídele a kontrola vůči mezním stavům

Provedením výpočtů všech kritických míst jsem určil nejkritičtější místo, které zde uvádím.

#### Kontrola vůči meznímu stavu pružnosti

- Výpočet kroutícího momentu

$$M_k = M_N \cdot i_s \cdot i_f = 19,6 \cdot 10 \cdot 1,3 = 254,8Nm$$

- Výpočet ohybového napětí v kritickém místě

$$M_{Oy} = F_M \cdot (x_1) - F_{Ay} \cdot (x_2) = 2548 \cdot (0,2275) - 4652,42 \cdot (0,0075) = 818,69Nm$$

$$M_{Oz} = F_{Az} \cdot (x_2) = 17,83 \cdot (0,0075) = 0,13Nm$$

$$M_O = \sqrt{M_{Oy}^2 + M_{Oz}^2} = \sqrt{818,69^2 + 0,13^2} = 818,69Nm$$

- Výpočet napětí v ohybu v kritickém místě

$$\sigma_0 = \frac{32 \cdot M_O}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 818,69}{\pi \cdot 0,04^3} = 130,30MPa$$

- Výpočet smykového napětí v krutu v kritickém místě

$$\tau_k = \frac{16 \cdot M_k}{\pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot 254,8}{\pi \cdot 0,04^3} = 20,28MPa$$

- Součinitele tvarů

$$\sigma_{omax} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_0 = 1,7 \cdot 130,30 = 221,51MPa$$

$$\tau_{kmax} = \alpha_\tau \cdot \tau_k = 1,5 \cdot 20,28 = 30,42MPa$$

- Výpočet redukovaného napětí

$$\sigma_{red} = \sqrt{4 \cdot \tau_{kmax}^2 + \sigma_{omax}^2} = \sqrt{4 \cdot 30,42^2 + 221,51^2} = 229,71MPa$$

- Určení součinitele bezpečnosti vůči meznímu stavu pružnosti

$$k_p = \frac{Re}{\sigma_{red}} = \frac{1370}{229,71} = 5,96$$



### Kontrola vůči meznímu stavu únavy

- Určení součinitelů vrubů a podle Neuberovy rovnice

$$\beta_{\sigma} = \frac{\alpha_{\sigma}}{1 + \frac{2 \cdot (\alpha_{\sigma} - 1) \cdot \sqrt{a}}{\alpha_{\sigma} \cdot \sqrt{2}}} = \frac{1,7}{1 + \frac{2 \cdot (1,7 - 1) \cdot \frac{139}{\sqrt{2}}}{1,7 \cdot \frac{1570}{\sqrt{2}}}} = 1,61$$

$$\beta_{\tau} = \frac{\alpha_{\tau}}{1 + \frac{2 \cdot (\alpha_{\tau} - 1) \cdot \sqrt{\frac{1}{2}}}{\alpha_{\tau} \cdot \sqrt{2}}} = \frac{1,5}{1 + \frac{2 \cdot (1,5 - 1) \cdot \frac{139}{\sqrt{2}}}{1,5 \cdot \frac{1570}{\sqrt{2}}}} = 1,44$$

- Určení parametrů proměnlivého namáhání

$$\sigma_{anom\beta} = \beta_{\sigma} \cdot \sigma_{anom} = 1,61 \cdot 130,3 = 209,78 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{mnom\beta} = \beta_{\sigma} \cdot \sigma_{mnom} = 0$$

$$\tau_{anom\beta} = \beta_{\tau} \cdot \tau_{anom} = 0$$

$$\tau_{mnom\beta} = \beta_{\tau} \cdot \tau_{mnom} = 1,44 \cdot 20,28 = 29,20 \text{ MPa}$$

- Určení redukovaných napětí

$$\sigma_{mred} = \sqrt{4 \cdot \tau_{mnom\beta}^2 + \sigma_{mnom\beta}^2} = \sqrt{4 \cdot 29,20^2} = 58,40 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ared} = \sqrt{4 \cdot \tau_{anom\beta}^2 + \sigma_{anom\beta}^2} = \sqrt{209,78^2} = 209,78 \text{ MPa}$$

- Faktory ovlivňující mez únavy

- Součinitel vlivu jakosti povrchu

$$k_a = a \cdot R_m^b = 4,51 \cdot 1570^{-0,265} = 0,64$$

- Součinitel vlivu jakosti tělesa

$$k_b = 1 \cdot d_1^2 = 1,24 \cdot 40^{-0,107} = 0,836$$

- Součinitel vlivu způsobu zatěžování

$$k_c = 1$$

- Součinitel vlivu teploty

$$k_d = 1$$

- Součinitel spolehlivosti

$$k_e = 0,814$$

- Součinitel zahrnující další vlivy

$$k_f = 1$$

- Určení korigované meze únavy

$$\sigma_c = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot 740 = 322,29 \text{ MPa}$$

- Určení součinitele bezpečnosti vůči meznímu stavu únavy ku pomocí Goodmanova kritéria porušení

$$k_u = \frac{1}{\frac{\sigma_{ared}}{\sigma_c} + \frac{\sigma_{mred}}{R_m}} = \frac{1}{\frac{209,78}{322,29} + \frac{58,40}{1570}} = 1,45$$

### 3.5.3 Ložiska Hřídele Věže

Hřídel je uložena ve dvou kuželíkových ložiscích. Ložiska jsou vložena do rámu stroje. Ložiska mají dynamickou únosnost  $C_1 = 45\,000 \text{ N}$ . Obě ložiska budou stejná, takže určí pouze životnost více zatíženého ložiska.

#### Výpočet trvanlivosti ložiska.

$$P = X \cdot F_{RA} + Y \cdot F_{ZA} = 0,6 \cdot 4652,45 + 0,5 \cdot 2633,54 = 4108,24 \text{ N}$$

$$L_D = \left(\frac{C_1}{P}\right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{L_{10}}{i_s \cdot i_r} = \left(\frac{45000}{4108,24}\right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{10 \cdot 1,3} = 433140 \text{ h}$$

### 3.5.4 Kontrola Pera na otláčení

Pero slouží k přenosu kroutícího momentu z hřídele na věž lisu. Typ pera byl zvolen ČSN 02 2562A 28x16x80.

$$P_o = 90 \text{ MPa}$$

$$F_t = \frac{2 \cdot M_k}{d} = \frac{2 \cdot 254,8}{0,1} = 5096 \text{ N}$$

$$p_1 = \frac{F_t}{(l - b) \cdot t_1} = \frac{5096}{(80 - 28) \cdot 6,1} = 16,1 \text{ MPa}$$

$$p_D = 0,7 \cdot p_o = 0,7 \cdot 90 = 63 \text{ MPa}$$

Pero je zatěžováno nižším než dovoleným tlakem.

### 3.6 Pouzdro

Skládá se ze 3 částí. Je vyrobena z oceli Din 1.4307.

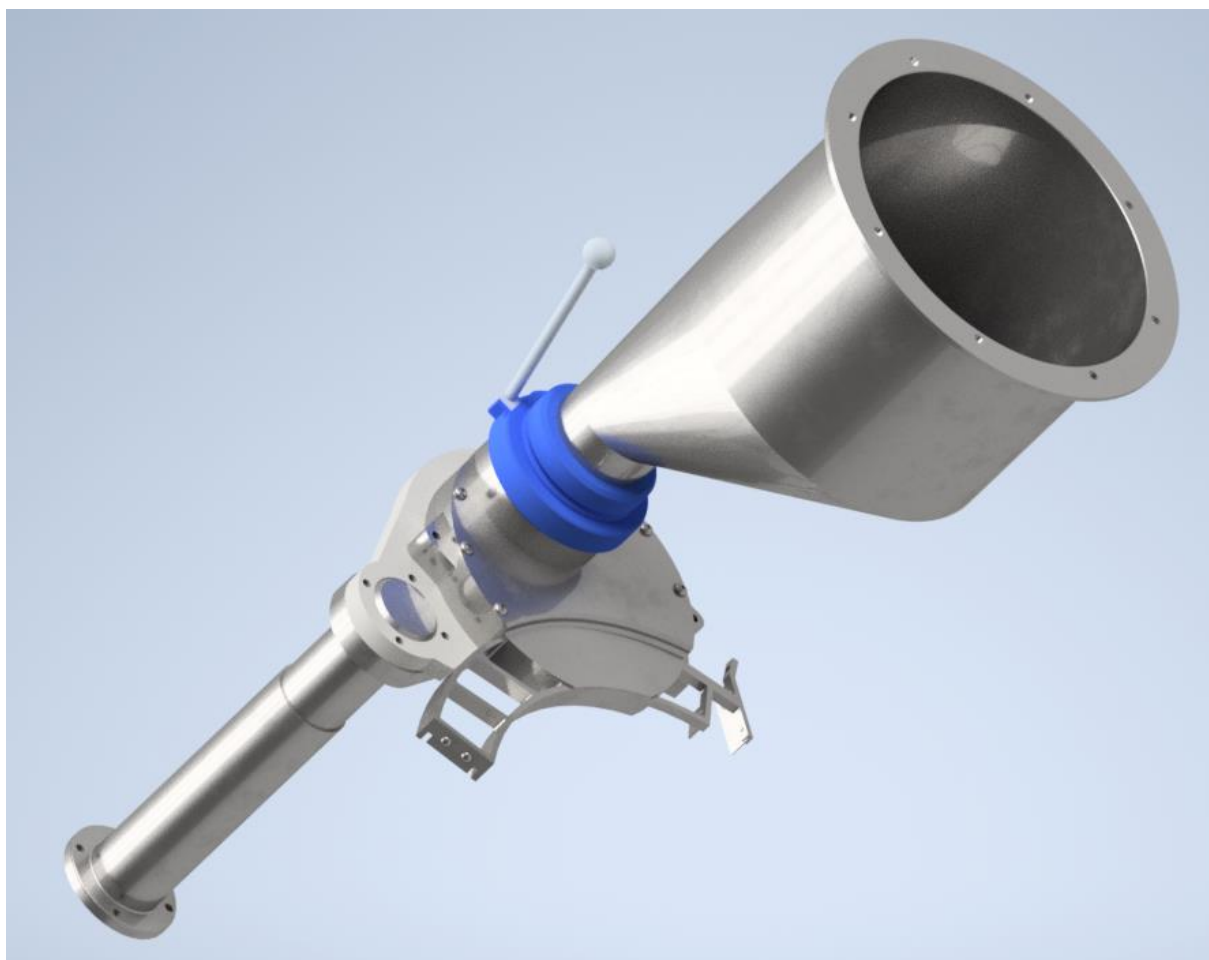
Dolní část pouzdra je spojena šesti šrouby AS 1427 Z M6x30 s horní částí pouzdra a dvěma šrouby AS 1427 M8x45 podložkou pouzdra. Obsahuje celkem 3 škrabky pro přesouvání prášku, které jsou spojeny celkem 5 šrouby AS 1427 Z M4x6.

K vedení prášku je tu jedna lopatka o průměru 200 mm a výšce 18 mm.

Horní část pouzdra uzavírá pouzdro a obsahuje otvor pro přívod prášku pro lisování. Je k němu připevněn motýlkový ventil d21x-10px80 od firmy Shanghai Hua Tong Valve Co., Ltd. pro kontrolu přívodu prášku, který je spojen s násypkou.

Podložka pouzdra obsahuje těsnící kroužek CNS 9341 D D 25 38 8 pro zamezení úniku prášku mimo pouzdro a ložisko CSN 02 4630 (61805). Podložka je připevněna čtyřmi šrouby AS 1427 M8x45 k sloupu plničky, který je spojen čtyřmi šrouby AS 1110 M8x35 k rámu stroje.

K levé části plničky se napojuje spád, který se společně s levou škrabkou odebírá tablety ze systému.



Obrázek 20 Plnička

### 3.7 Hřídel plnění

Jedná se o hřídel pohánějící plničku. Je vyrobena z oceli 11 300.0.  $R_m = 265 \text{ MPa}$ .

#### 3.7.1 Volba motoru a převodovky pro plnění

Motor bude spojen s šnekovou převodovkou od firmy TOS Znojmo.

Pro pohon plnění volím motor Siemens 1LE1003-0DB22-1AA6-Z z katalogu Sinamics, jehož otáčky budou ovládány frekvenčním měničem SINAMICS V20 – 6SL3210-5BB15-5BV1 od firmy Siemens.

Technické parametry motoru:

$$N_N = 1440 \text{ min}^{-1}$$

$$M_N = 3,6 \text{ Nm}$$

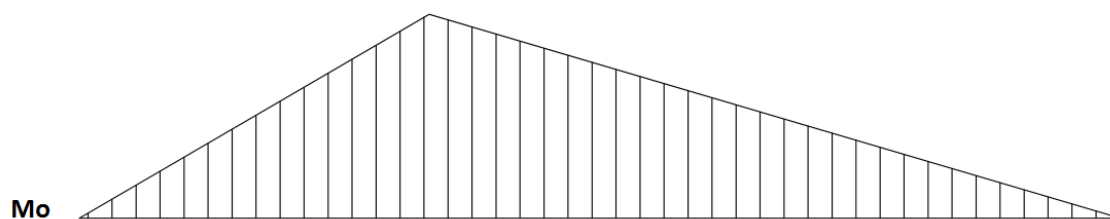
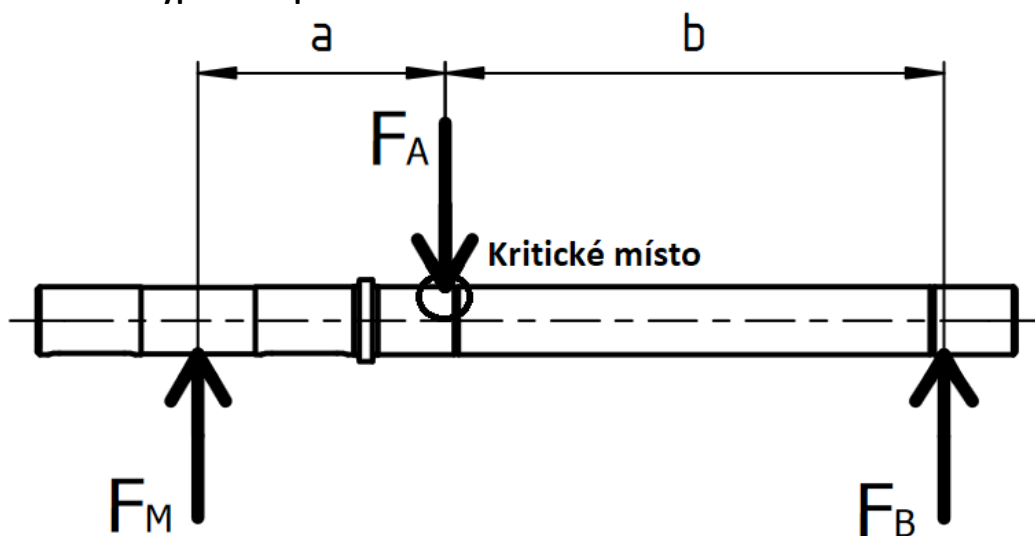
$$P_N = 0,55 \text{ kW}$$

Motor bude spojen s šnekovou převodovkou RT 60A 5 FTRL od firmy TOS Znojmo s převodovým poměrem 5.



Obrázek 21 Pohon plnění

### 3.7.2 Uvolnění a výpočet sil působících v ložiscích.



- $F_M$  je síla, kterou působí motor na hřídel plničky.
- $F_A$  a  $F_B$  jsou síly působící v ložiscích.
- $a = 90,5 \text{ mm}$
- $b = 182,9 \text{ mm}$

$$F_M = \frac{M_K}{r} = \frac{18}{0,06} = 300N$$

- Rovnice statické rovnováhy

$$\sum F_y = 0: -F_M + F_A + F_B = 0$$

$$\sum M_{Bz} = 0: F_M \cdot (a + b) - F_A(b) = 0$$

- Z rovnic statické rovnováhy zjistíme velikosti sil  $F_A$  a  $F_B$

$$F_A = 448,44N \quad F_B = 148,44N$$

### 3.7.3 Návrh hřídele a kontrola vůči mezním stavům

#### **Kontrola vůči meznímu stavu pružnosti**

- Výpočet kroutícího momentu

$$M_k = M_N \cdot i_s = 3,6 \cdot 5 = 18 Nm$$

- Výpočet ohybového napětí v kritickém místě

$$M_O = F_M \cdot (x) = 300 \cdot 0,094 = 27 Nm$$

- Výpočet napětí v ohybu v kritickém místě

$$\sigma_0 = \frac{32 \cdot M_0}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 27}{\pi \cdot 0,025^3} = 17,60 MPa$$

- Výpočet smykového napětí v krutu v kritickém místě

$$\tau_k = \frac{16 \cdot M_k}{\pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot 18}{\pi \cdot 0,025^3} = 5,87 MPa$$

- Výpočet redukovaného napětí

$$\sigma_{red} = \sqrt{4 \cdot \tau_k^2 + \sigma_0^2} = \sqrt{4 \cdot 5,87^2 + 17,60^2} = 21,16 MPa$$

- Určení součinitele bezpečnosti vůči meznímu stavu pružnosti

$$k_p = \frac{Re}{\sigma_{red}} = \frac{165}{21,16} = 7,80$$

#### **Kontrola vůči meznímu stavu únavy**

- Určení parametrů proměnlivého namáhání

$$\sigma_{anom} = 17,60 MPa$$

$$\sigma_{mnom} = 0$$

$$\tau_{anom} = 0$$

$$\tau_{mnom} = 5,87 MPa$$

- Určení redukovaných napětí

$$\sigma_{mred} = \sqrt{4 \cdot \tau_{mnom}^2 + \sigma_{mnom}^2} = \sqrt{4 \cdot 5,87^2} = 11,74 MPa$$

$$\sigma_{ared} = \sqrt{4 \cdot \tau_{anom}^2 + \sigma_{anom}^2} = \sqrt{17,60^2} = 17,60 MPa$$

- Faktory ovlivňující mez únavy

- Součinitel vlivu jakosti povrchu

$$k_a = a \cdot R_m^b = 4,51 \cdot 265^{-0,265} = 1,028$$

- Součinitel vlivu jakosti tělesa

$$k_b = 1 \cdot d_1^2 = 1,24 \cdot 0,025^{-0,107} = 0,879$$

- Součinitel vlivu způsobu zatěžování

$$k_c = 1$$

- Součinitel vlivu teploty

$$k_d = 1$$

- Součinitel spolehlivosti

$$k_e = 0,814$$

- Součinitel zahrnující další vlivy

$$k_f = 1$$

- Určení korigované meze únavy

$$\sigma_c = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot 0,504 \cdot R_m = 98,24 \text{ MPa}$$

- Určení součinitele bezpečnosti vůči meznímu stavu únavy ku pomocí Goodmanova kritéria porušení

$$k_u = \frac{1}{\frac{\sigma_{ared}}{\sigma_c} + \frac{\sigma_{mred}}{R_m}} = \frac{1}{\frac{17,60}{98,24} + \frac{11,74}{275}} = 4,51$$

### 3.7.4 Ložiska hřídele plnění

Hřídel je uložena ve dvou kuličkových ložiscích. Ložiska jsou uložena v podložce plničky a nástavce převodovky. Ložiska mají dynamickou únosnost  $C_1 = 4360 \text{ N}$ . Obě ložiska budou stejná, takže určují pouze životnost více zatíženého ložiska.

#### Výpočet trvanlivosti ložiska.

$$L_D = \left( \frac{C_1}{F_{RA}} \right)^3 \cdot \frac{\frac{L_{10}}{n_N}}{i_s} = \left( \frac{4360}{448,44} \right)^3 \cdot \frac{\frac{10^6}{1440}}{5} = 127648h$$

### 3.8 Volba motoru a převodovky pro dolní lisovací válce

Nastavování výšky dolních lisovacích válců je poháněno servomotory se šnekovými převodovkami 1FG1603-5AC23-1AM2-Z značky Sinamics od firmy Siemens.

Převodový poměr daných servomotorů je 265,2.

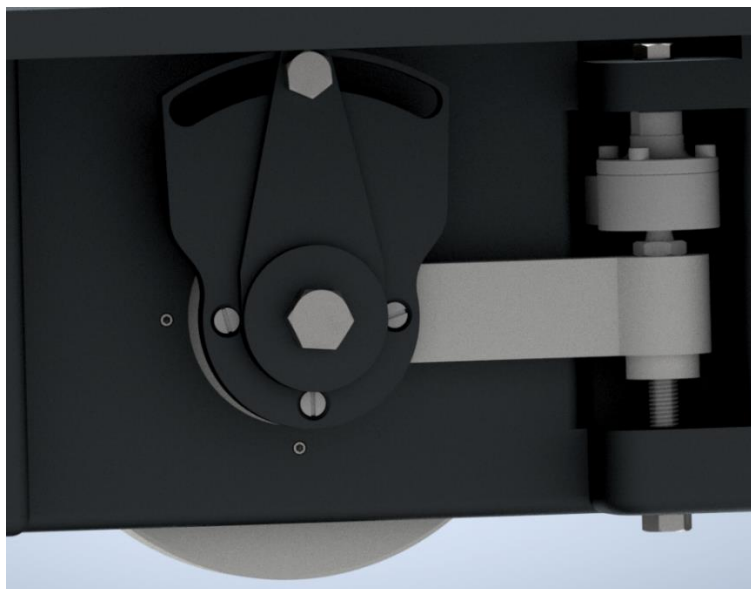
### 3.9 Hřídele lisovacích kol

Jsou zde celkem 4 hřídele. Dvě vedlejší pro před-lisovací válce a dvě hlavní pro hlavní lisovací válce.

Vedlejší hřídele jsou vyrobeny z oceli 11 343.0 a hlavní jsou z oceli 12 050.1. Všechny jsou povrchově kaleny v místě uložení ložisek.

Oblasti hřídelí, na které se umísťují lisovací válce jsou vyoseny o 3 mm.

Horní hřídele jsou spojeny s mechanismem k nastavení lisovací výšky, za pomoci šroubu AS 1110 M16x30. Jsou uloženy v horním rámu stroje za pomoci vložky umožňující protažení hřídele.



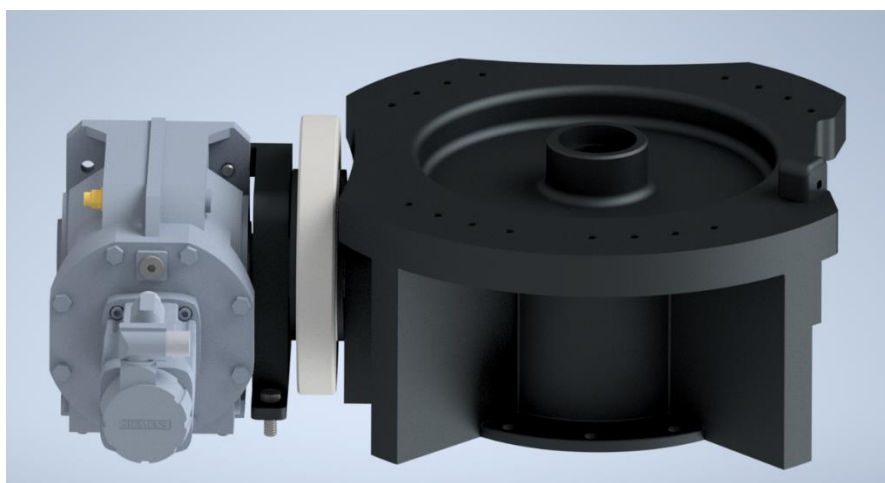
*Obrázek 22 Horní lisovací sestava*

Tento mechanismus je složen ze dvou hlavních částí:

**Nastavení** – slouží ke změně lisovací výšky.

**Kladka** – brání otočení hřídele a přenáší sílu na senzor tlaku.

Dolní hřídele jsou uloženy v podstavci a servomotory s podložkami.

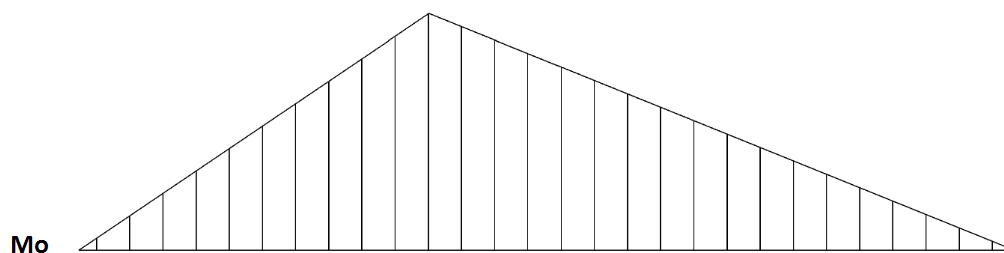
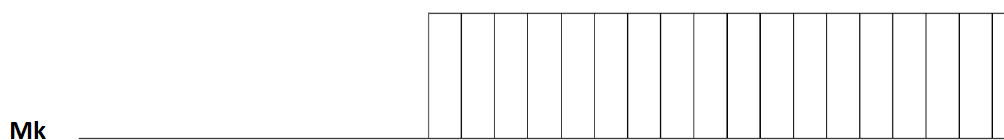
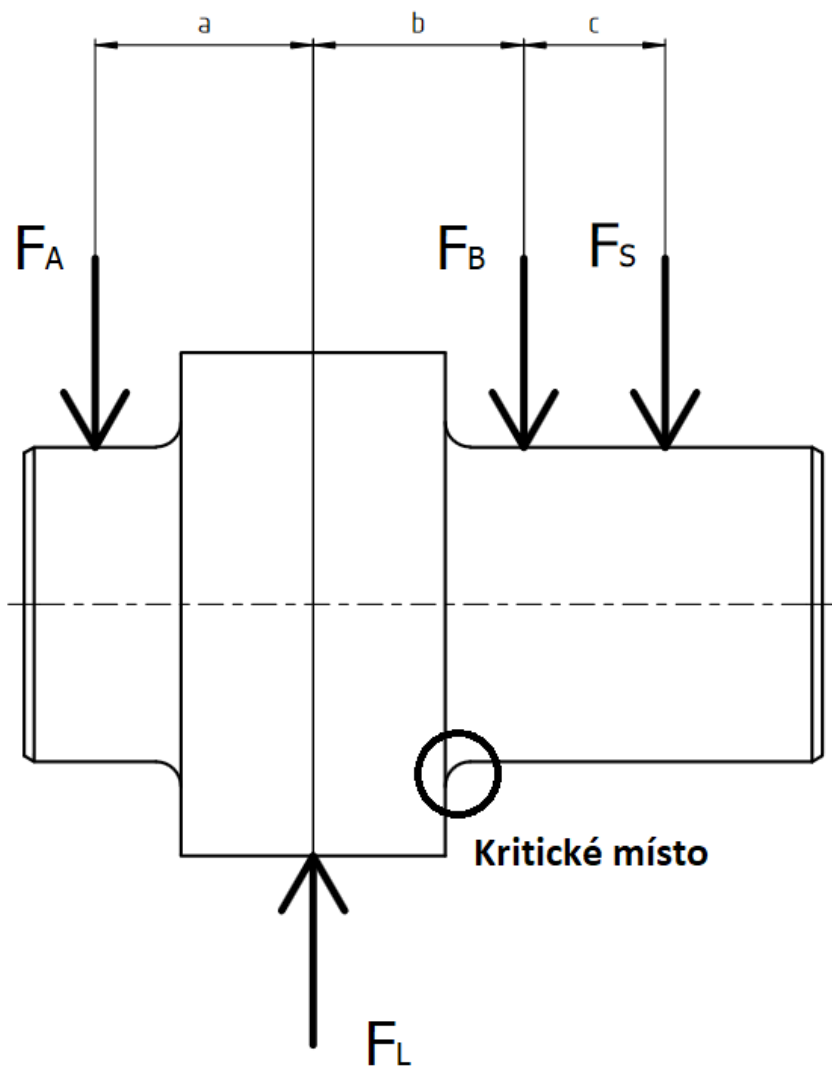


*Obrázek 23 Dolní lisovací sestava*



### 3.10 Horní hlavní hřídel

#### 3.10.1 Uvolnění a výpočet sil působících v uložení



- $F_L = 40000 \text{ N}$  je lisovací síla, působící na hřídel

- $F_S$  je síla působící na senzor tlaku
- $a = 33,5 \text{ mm}$
- $b = 33,5 \text{ mm}$
- $c = 22,5 \text{ mm}$
- $r_1 = 3 \text{ mm}$ , je vyosení excentru.
- $r_2 = 150 \text{ mm}$ , je osová vzdálenost senzoru.

$$F_L = 40\,000 \text{ N}$$

$$F_S \cdot r_2 = F_L \cdot r_1$$

$$F_S = 800 \text{ N}$$

- Rovnice statické rovnováhy

$$\sum F = 0: -F_A - F_B + F_L - F_S = 0$$

$$\sum M_A = 0: F_L \cdot (a) - F_B(a + b) - F_S(a + b + c) = 0$$

- Z rovnic statické rovnováhy zjistíme velikosti sil  $F_A$  a  $F_B$

$$F_A = 20268,66 \text{ kN} \quad F_B = 18\,931,34 \text{ N}$$

### 3.10.2 Návrh hřídele a kontrola vůči mezním stavům

#### Kontrola vůči meznímu stavu pružnosti

- Výpočet kroutícího momentu

$$M_k = F_L \cdot r_1 = 40000 \cdot 0,003 = 120 \text{ Nm}$$

- Výpočet ohybového napětí v kritickém místě

$$M_0 = F_S \cdot (x_1) + F_B \cdot (x_2) = 800 \cdot 0,035 + 18931,34 \cdot 0,0125 = 264,64 \text{ Nm}$$

- Výpočet napětí v ohybu v kritickém místě

$$\sigma_0 = \frac{32 \cdot M_0}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 264,64}{\pi \cdot 0,05^3} = 21,56 \text{ MPa}$$

- Výpočet smykového napětí v krutu v kritickém místě

$$\tau_k = \frac{16 \cdot M_k}{\pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot 120}{\pi \cdot 0,05^3} = 4,89 \text{ MPa}$$

- Součinitele tvarů

$$\sigma_{\text{max}} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_0 = 1,9 \cdot 21,56 = 40,96 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{max}} = \alpha_\tau \cdot \tau_k = 1,5 \cdot 4,89 = 7,34 \text{ MPa}$$

- Výpočet redukovaného napětí

$$\sigma_{\text{red}} = \sqrt{4 \cdot \tau_{\text{max}}^2 + \sigma_{\text{max}}^2} = \sqrt{4 \cdot 7,34^2 + 40,96^2} = 43,51 \text{ MPa}$$

- Určení součinitele bezpečnosti vůči meznímu stavu pružnosti

$$k_p = \frac{Re}{\sigma_{red}} = \frac{Re}{43,51} = 2$$

### **Kontrola vůči meznímu stavu únavy**

- Určení součinitelů vrubů a podle Neuberovy rovnice

$$\beta_\sigma = \frac{\alpha_\sigma}{1 + \frac{2 \cdot (\alpha_\sigma - 1)}{\alpha_\sigma} \cdot \frac{\sqrt{\frac{1}{2}}}{\sqrt{2}}} = \frac{1,9}{1 + \frac{2 \cdot (1,9 - 1)}{1,9} \cdot \frac{\frac{139}{\sqrt{2}}}{\sqrt{2}}} = 1,47$$

$$\beta_\tau = \frac{\alpha_\tau}{1 + \frac{2 \cdot (\alpha_\tau - 1)}{\alpha_\tau} \cdot \frac{\sqrt{\frac{1}{2}}}{\sqrt{2}}} = \frac{1,5}{1 + \frac{2 \cdot (1,5 - 1)}{1,5} \cdot \frac{\frac{139}{\sqrt{2}}}{\sqrt{2}}} = 1,25$$

- Určení parametrů proměnlivého namáhání

$$\sigma_{anom\beta} = \beta_\sigma \cdot \sigma_{anom} = 1,47 \cdot 21,56 = 31,69$$

$$\sigma_{mnom\beta} = \beta_\sigma \cdot \sigma_{mnom} = 1,47 \cdot 10,78 = 15,85$$

$$\tau_{anom\beta} = \beta_\tau \cdot \tau_{anom} = 1,25 \cdot 4,89 = 6,11$$

$$\tau_{mnom\beta} = \beta_\tau \cdot \tau_{mnom} = 1,25 \cdot 2,45 = 3,06$$

- Určení redukovaných napětí

$$\sigma_{mred} = \sqrt{4 \cdot \tau_{mnom\beta}^2 + \sigma_{mnom\beta}^2} = \sqrt{4 \cdot 3,06^2 + 15,85^2} = 17MPa$$

$$\sigma_{ared} = \sqrt{4 \cdot \tau_{anom\beta}^2 + \sigma_{anom\beta}^2} = \sqrt{4 \cdot 6,11^2 + 31,69^2} = 33,96MPa$$

- Faktory ovlivňující mez únavy

- Součinitel vlivu jakosti povrchu

$$k_a = a \cdot R_m^b = 4,51 \cdot 320^{-0,265} = 0,978$$

- Součinitel vlivu jakosti tělesa

$$k_b = 1 \cdot d_1^2 = 1,24 \cdot 50^{-0,107} = 0,816$$

- Součinitel vlivu způsobu zatěžování

$$k_c = 1$$

- Součinitel vlivu teploty

$$k_d = 1$$

- Součinitel spolehlivosti

$$k_e = 0,814$$

- Součinitel zahrnující další vlivy

$$k_f = 1$$

- Určení korigované meze únavy  
 $R_m = 320 \text{ MPa}$ .

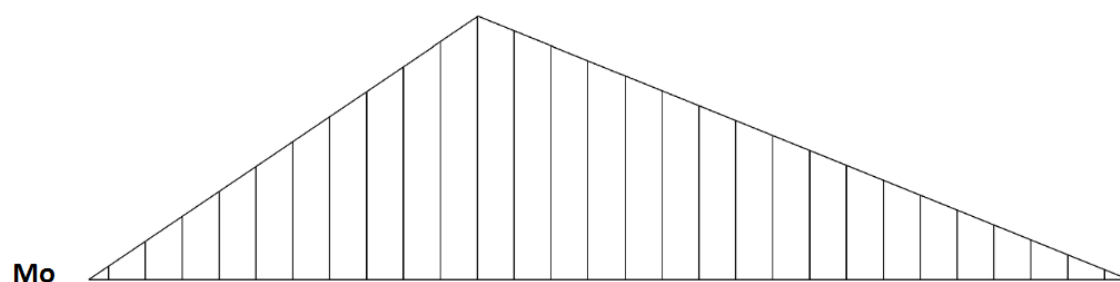
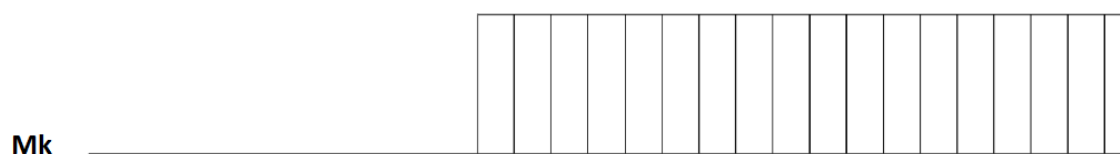
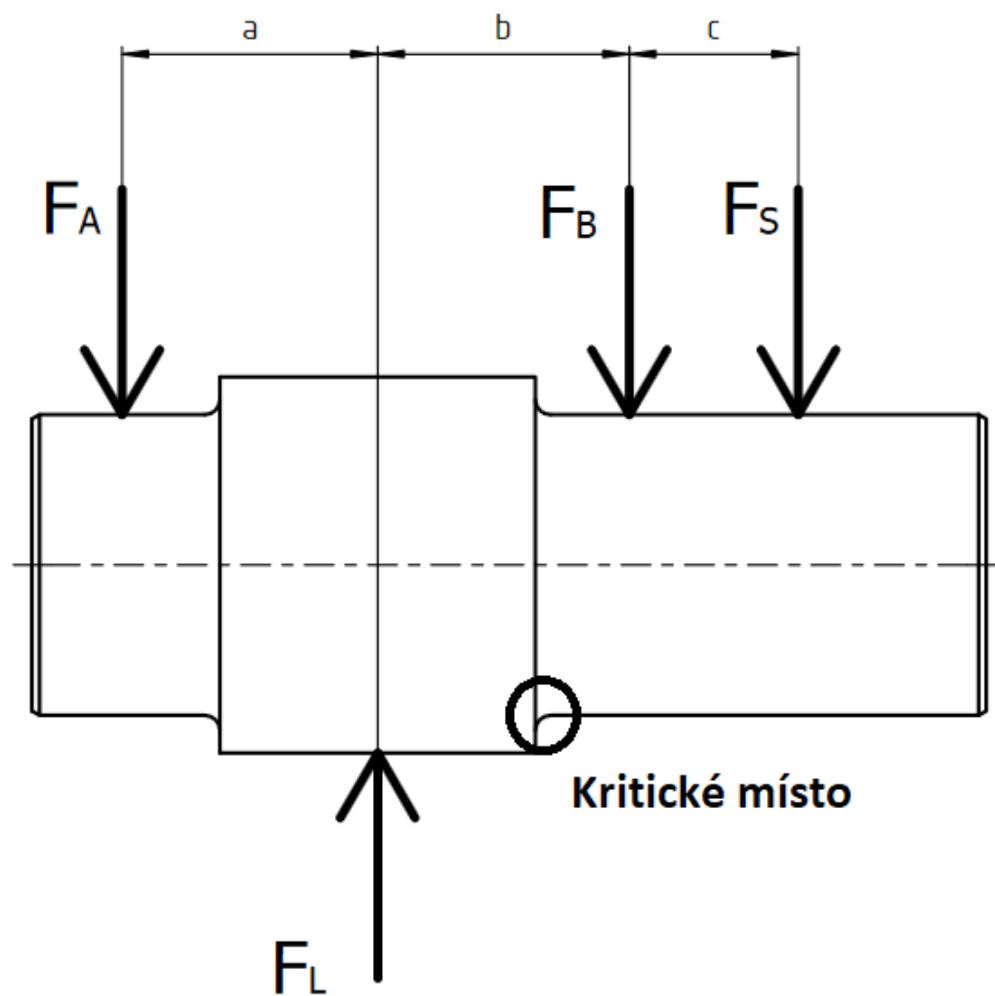
$$\sigma_c = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot 0,504 \cdot R_m = 104,77 \text{ MPa}$$

- Určení součinitele bezpečnosti vůči meznímu stavu únavy ku pomocí Goodmanova kritéria porušení

$$k_u = \frac{1}{\frac{\sigma_{ared}}{\sigma_c} + \frac{\sigma_{mred}}{R_m}} = \frac{1}{\frac{33,96}{104,77} + \frac{17}{320}} = 2,65$$

### 3.11 Horní vedlejší hřídel

#### 3.11.1 Uvolnění a výpočet sil působících v uložení



- $F_L = 20000 \text{ N}$  je lisovací síla, působící na hřídel
- $F_S$  je síla působící na senzor tlaku
- $a = 33,5 \text{ mm}$
- $b = 33,5 \text{ mm}$
- $c = 22,5 \text{ mm}$
- $r_1 = 3 \text{ mm}$ , je vyosení excentru.
- $r_2 = 100 \text{ mm}$ , je osová vzdálenost senzoru.

$$F_L = 20\,000 \text{ N}$$

$$F_S \cdot r_2 = F_L \cdot r_1$$

$$F_S = 600 \text{ N}$$

- Rovnice statické rovnováhy

$$\sum F = 0: -F_A - F_B + F_L - F_S = 0$$

$$\sum M_A = 0: F_L \cdot (a) - F_B(a + b) - F_S(a + b + c) = 0$$

- Z rovnic statické rovnováhy zjistíme velikosti sil  $F_A$  a  $F_B$

$$F_A = 10201,49 \text{ kN} \quad F_B = 9198,51 \text{ N}$$

### 3.11.2 Návrh hřídele a kontrola vůči mezním stavům

#### Kontrola vůči meznímu stavu pružnosti

- Výpočet kroutícího momentu

$$M_k = F_L \cdot r_1 = 20000 \cdot 0,003 = 60 \text{ Nm}$$

- Výpočet ohybového napětí v kritickém místě

$$M_0 = F_S \cdot (x_1) + F_B \cdot (x_2) = 600 \cdot 0,035 + 9198,51 \cdot 0,0125 = 135,98 \text{ Nm}$$

- Výpočet napětí v ohybu v kritickém místě

$$\sigma_0 = \frac{32 \cdot M_0}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 135,98}{\pi \cdot 0,04^3} = 21,64 \text{ MPa}$$

- Výpočet smykového napětí v krutu v kritickém místě

$$\tau_k = \frac{16 \cdot M_k}{\pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot 60}{\pi \cdot 0,04^3} = 4,77 \text{ MPa}$$

- Součinitele tvarů

$$\sigma_{\text{max}} = \alpha_\sigma \cdot \sigma_0 = 1,7 \cdot 21,56 = 36,65 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{max}} = \alpha_\tau \cdot \tau_k = 1,5 \cdot 4,89 = 7,16 \text{ MPa}$$

- Výpočet redukovaného napětí

$$\sigma_{red} = \sqrt{4 \cdot \tau_{kmax}^2 + \sigma_{omax}^2} = \sqrt{4 \cdot 7,16^2 + 36,65^2} = 39,35 MPa$$

- Určení součinitele bezpečnosti vůči meznímu stavu pružnosti

$$k_p = \frac{Re}{\sigma_{red}} = \frac{180}{39,35} = 4,57$$

### **Kontrola vůči meznímu stavu únavy**

- Určení součinitelů vrubů a podle Neuberovy rovnice

$$\beta_{\sigma} = \frac{\alpha_{\sigma}}{1 + \frac{2 \cdot (\alpha_{\sigma} - 1)}{\alpha_{\sigma}} \cdot \frac{\sqrt{\frac{1}{2}}}{\sqrt{2}}} = \frac{1,7}{1 + \frac{2 \cdot (1,7 - 1)}{1,7} \cdot \frac{\frac{139}{\sqrt{2}}}{\frac{320}{\sqrt{2}}}} = 1,36$$

$$\beta_{\tau} = \frac{\alpha_{\tau}}{1 + \frac{2 \cdot (\alpha_{\tau} - 1)}{\alpha_{\tau}} \cdot \frac{\sqrt{\frac{1}{2}}}{\sqrt{2}}} = \frac{1,5}{1 + \frac{2 \cdot (1,5 - 1)}{1,5} \cdot \frac{\frac{139}{\sqrt{2}}}{\frac{320}{\sqrt{2}}}} = 1,25$$

- Určení parametrů proměnlivého namáhání

$$\sigma_{anom\beta} = \beta_{\sigma} \cdot \sigma_{anom} = 1,36 \cdot 21,64 = 29,43$$

$$\sigma_{mnom\beta} = \beta_{\sigma} \cdot \sigma_{mnom} = 1,36 \cdot 10,82 = 14,72$$

$$\tau_{anom\beta} = \beta_{\tau} \cdot \tau_{anom} = 1,25 \cdot 4,77 = 5,96$$

$$\tau_{mnom\beta} = \beta_{\tau} \cdot \tau_{mnom} = 1,25 \cdot 2,39 = 2,99$$

- Určení redukovaných napětí

$$\sigma_{mred} = \sqrt{4 \cdot \tau_{mnom}^2 + \sigma_{mnom}^2} = \sqrt{4 \cdot 2,99^2 + 14,72^2} = 15,89 MPa$$

$$\sigma_{ared} = \sqrt{4 \cdot \tau_{anom}^2 + \sigma_{anom}^2} = \sqrt{4 \cdot 5,96^2 + 29,43^2} = 31,75 MPa$$

- Faktory ovlivňující mez únavy

- Součinitel vlivu jakosti povrchu

$$k_a = a \cdot R_m^b = 4,51 \cdot 320^{-0,265} = 0,978$$

- Součinitel vlivu jakosti tělesa

$$k_b = 1 \cdot d_1^2 = 1,24 \cdot 40^{-0,107} = 0,836$$

- Součinitel vlivu způsobu zatěžování

$$k_c = 1$$

- Součinitel vlivu teploty

$$k_d = 1$$

- Součinitel spolehlivosti

$$k_e = 0,814$$

- Součinitel zahrnující další vlivy

$$k_f = 1$$

- Určení korigované meze únavy

$$R_m = 320 \text{ MPa.}$$

$$\sigma_c = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot 0,504 \cdot R_m = 107,34 \text{ MPa}$$

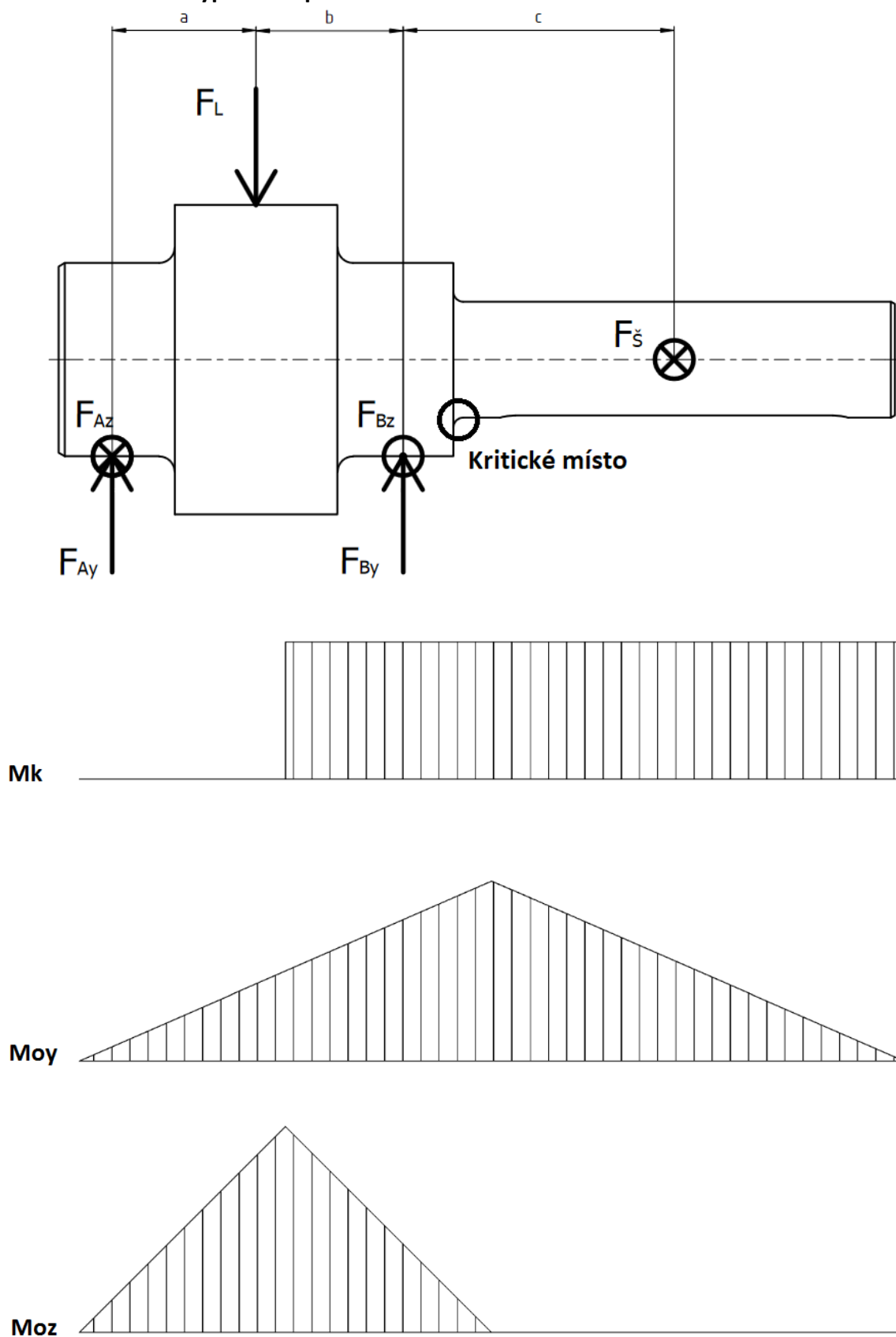
- Určení součinitele bezpečnosti vůči meznímu stavu únavy ku pomocí Goodmanova kritéria porušení

$$k_u = \frac{1}{\frac{\sigma_{ared}}{\sigma_c} + \frac{\sigma_{mred}}{R_m}} = \frac{1}{\frac{\sigma_{ared}}{\sigma_c} + \frac{\sigma_{mred}}{R_m}} = 2,89$$



### 3.12 Dolní hlavní hřídel

#### 3.12.1 Uvolnění a výpočet sil působících v uložení



- $F_L = 40000 \text{ N}$  je lisovací síla, působící na hřídel.
- $F_{\S}$  je síla působící na šnekové kolo.
- $a = 36 \text{ mm}$
- $b = 36 \text{ mm}$
- $c = 72 \text{ mm}$
- $r_1 = 3 \text{ mm}$ , je vyosení excentru.
- $r_2 = 55 \text{ mm}$ , je osová vzdálenost šneku.

$$F_L = 40\,000 \text{ N}$$

$$F_{\S} \cdot r_2 = F_L \cdot r_1$$

$$F_{\S} = 2181,82 \text{ N}$$

- Rovnice statické rovnováhy

$$\sum F_z = 0: F_{Az} - F_{Bz} + F_{\S} = 0$$

$$\sum F_y = 0: -F_{Ay} - F_{By} + F_L = 0$$

$$\sum M_{Az} = 0: F_L \cdot (a) - F_{By}(a + b) = 0$$

$$\sum M_{Ay} = 0: F_{Bz}(a + b) - F_{\S}(a + b + c) = 0$$

- Z rovnic statické rovnováhy zjistíme velikosti sil  $F_A$  a  $F_B$

$$F_{Az} = 1727,27 \text{ N} \quad F_{Bz} = 3909,09 \text{ N}$$

$$F_{Ay} = 20000 \text{ N} \quad F_{By} = 20000 \text{ N}$$

### 3.12.2 Návrh hřídele a kontrola vůči mezním stavům

#### Kontrola vůči meznímu stavu pružnosti

- Výpočet kroutícího momentu

$$M_k = F_L \cdot r_1 = 40000 \cdot 0,003 = 120 \text{ Nm}$$

- Výpočet ohybového napětí v kritickém místě

$$M_0 = F_{\S} \cdot (x_1) = 2181,82 \cdot 0,057 = 124,36 \text{ Nm}$$

- Výpočet napětí v ohybu v kritickém místě

$$\sigma_0 = \frac{32 \cdot M_0}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 124,36}{\pi \cdot 0,03^3} = 46,92 \text{ MPa}$$

- Výpočet smykového napětí v krutu v kritickém místě

$$\tau_k = \frac{16 \cdot M_k}{\pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot 120}{\pi \cdot 0,03^3} = 22,64 \text{ MPa}$$

- Součinitele tvarů

$$\sigma_{omax} = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_o = 1,6 \cdot 46,92 = 75,07 \text{ MPa}$$

$$\tau_{kmax} = \alpha_{\tau} \cdot \tau_k = 1,5 \cdot 22,64 = 33,96 \text{ MPa}$$

- Výpočet redukovaného napětí

$$\sigma_{red} = \sqrt{4 \cdot \tau_{kmax}^2 + \sigma_{omax}^2} = \sqrt{4 \cdot 33,96^2 + 75,07^2} = 102,73 \text{ MPa}$$

- Určení součinitele bezpečnosti vůči meznímu stavu pružnosti

$$k_p = \frac{Re}{\sigma_{red}} = \frac{305}{102,73} = 2,97$$

### **Kontrola vůči meznímu stavu únavy**

- Určení součinitelů vrubů a podle Neuberovy rovnice

$$\beta_{\sigma} = \frac{\alpha_{\sigma}}{1 + \frac{2 \cdot (\alpha_{\sigma} - 1)}{\alpha_{\sigma}} \cdot \frac{\sqrt{1}}{\sqrt{2}}} = \frac{1,6}{1 + \frac{2 \cdot (1,6 - 1)}{1,6} \cdot \frac{139}{\sqrt{2}}} = 1,40$$

$$\beta_{\tau} = \frac{\alpha_{\tau}}{1 + \frac{2 \cdot (\alpha_{\tau} - 1)}{\alpha_{\tau}} \cdot \frac{\sqrt{1}}{\sqrt{2}}} = \frac{1,5}{1 + \frac{2 \cdot (1,5 - 1)}{1,5} \cdot \frac{139}{\sqrt{2}}} = 1,33$$

- Určení parametrů proměnlivého namáhání

$$\sigma_{anom\beta} = \beta_{\sigma} \cdot \sigma_{anom} = 1,4 \cdot 46,92 = 65,69$$

$$\sigma_{mnom\beta} = \beta_{\sigma} \cdot \sigma_{mnom} = 1,4 \cdot 23,46 = 32,84$$

$$\tau_{anom\beta} = \beta_{\tau} \cdot \tau_{anom} = 1,33 \cdot 22,64 = 30,11$$

$$\tau_{mnom\beta} = \beta_{\tau} \cdot \tau_{mnom} = 1,33 \cdot 11,32 = 15,06$$

- Určení redukovaných napětí

$$\sigma_{mred} = \sqrt{4 \cdot \tau_{mnom}^2 + \sigma_{mnom}^2} = \sqrt{4 \cdot 15,06^2 + 30,11^2} = 44,56 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ared} = \sqrt{4 \cdot \tau_{anom}^2 + \sigma_{anom}^2} = \sqrt{4 \cdot 30,11^2 + 65,69^2} = 92,89 \text{ MPa}$$

- Faktory ovlivňující mez únavy

- Součinitel vlivu jakosti povrchu

$$k_a = a \cdot R_m^b = 4,51 \cdot 530^{-0,265} = 0,85$$

- Součinitel vlivu jakosti tělesa

$$k_b = 1 \cdot d_1^2 = 1,24 \cdot 50^{-0,107} = 0,816$$

- Součinitel vlivu způsobu zatěžování

$$k_c = 1$$

- Součinitel vlivu teploty

$$k_d = 1$$

- Součinitel spolehlivosti

$$k_e = 0,814$$

- Součinitel zahrnující další vlivy

$$k_f = 1$$

- Určení korigované meze únavy

$R_m = 530 \text{ MPa}$ .

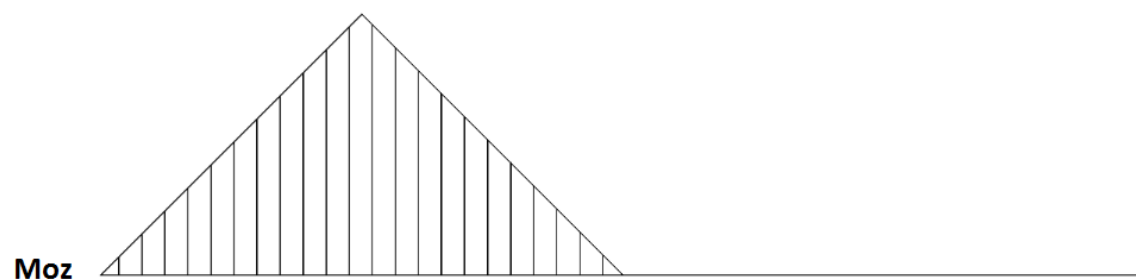
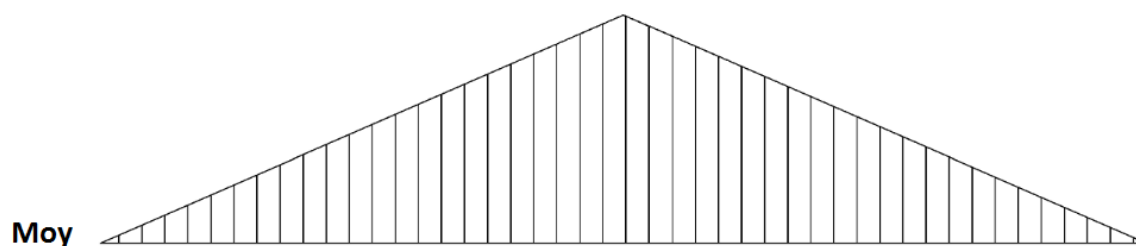
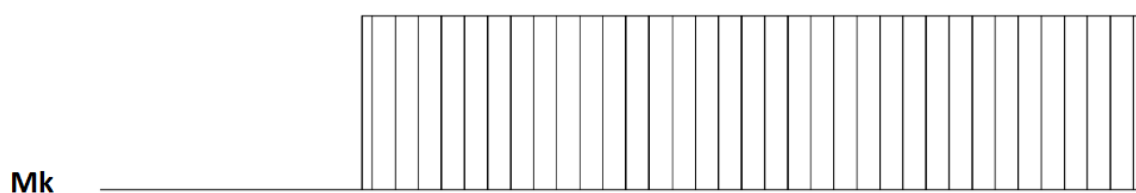
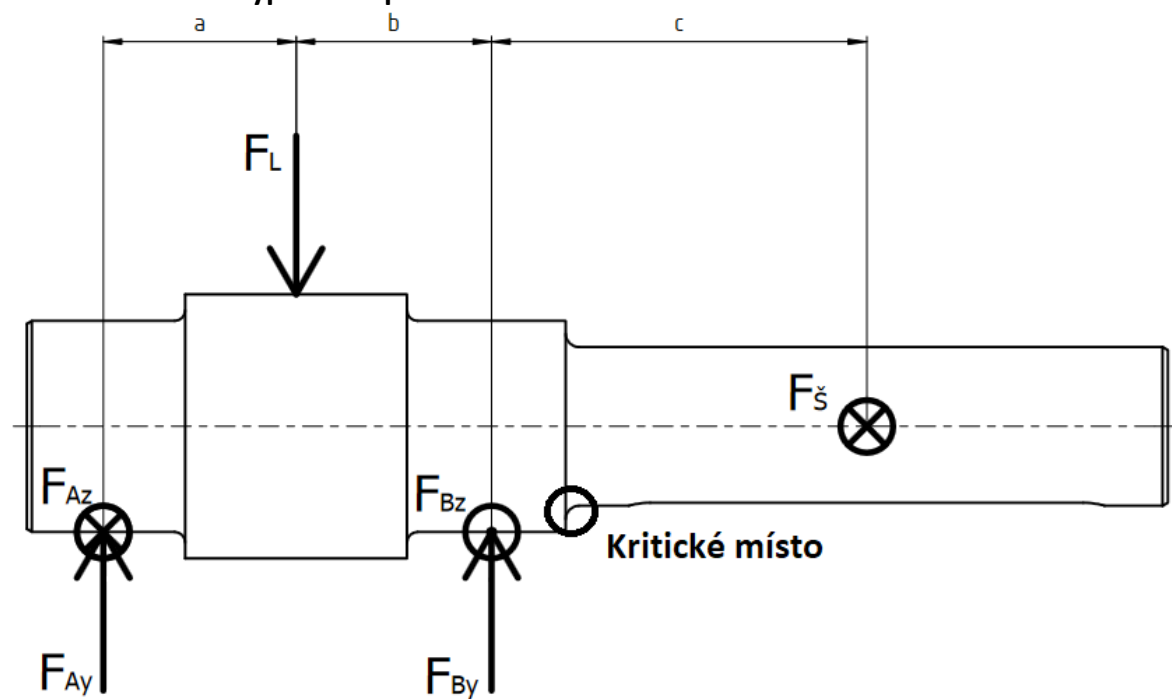
$$\sigma_c = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot 0,504 \cdot R_m = 150,81 \text{ MPa}$$

- Určení součinitele bezpečnosti vůči meznímu stavu únavy ku pomocí Goodmanova kritéria porušení

$$k_u = \frac{1}{\frac{\sigma_{ared}}{\sigma_c} + \frac{\sigma_{mred}}{R_m}} = \frac{1}{\frac{92,89}{150,81} + \frac{44,56}{530}} = 1,43$$

### 3.13 Dolní vedlejší hřídel

#### 3.13.1 Uvolnění a výpočet sil působících v uložení



- $F_L = 20000 \text{ N}$  je lisovací síla, působící na hřídel
- $F_\xi$  je síla působící na šnekové kolo.
- $a = 36 \text{ mm}$
- $b = 36 \text{ mm}$
- $c = 72 \text{ mm}$
- $r_1 = 3 \text{ mm}$ , je vyosení excentru.
- $r_2 = 55 \text{ mm}$ , je osová vzdálenost šneku.

$$F_L = 20\,000 \text{ N}$$

$$F_\xi \cdot r_2 = F_L \cdot r_1$$

$$F_\xi = 1090,91 \text{ N}$$

- Rovnice statické rovnováhy

$$\sum F_z = 0: F_{Az} - F_{Bz} + F_\xi = 0$$

$$\sum F_y = 0: -F_{Ay} - F_{By} + F_L = 0$$

$$\sum M_{Az} = 0: F_L \cdot (a) - F_{By}(a + b) = 0$$

$$\sum M_{Ay} = 0: F_{Bz}(a + b) - F_\xi(a + b + c) = 0$$

- Z rovnic statické rovnováhy zjistíme velikosti sil  $F_A$  a  $F_B$

$$F_{Az} = 863,64 \text{ N} \quad F_{Bz} = 1954,55 \text{ N}$$

$$F_{Ay} = 10000 \text{ N} \quad F_{By} = 10000 \text{ N}$$

### 3.13.2 Návrh hřídele a kontrola vůči mezním stavům

#### **Kontrola vůči meznímu stavu pružnosti**

- Výpočet kroutícího momentu

$$M_k = F_L \cdot r_1 = 20000 \cdot 0,003 = 60 \text{ Nm}$$

- Výpočet ohybového napětí v kritickém místě

$$M_0 = F_S \cdot (l) + F_B \cdot (l) = F_S \cdot (l) + F_B \cdot (l) = -62,64 \text{ Nm}$$

- Výpočet napětí v ohybu v kritickém místě

$$\sigma_0 = \frac{32 \cdot M_0}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 62,64}{\pi \cdot 0,03^3} = 23,63 \text{ MPa}$$

- Výpočet smykového napětí v krutu v kritickém místě

$$\tau_k = \frac{16 \cdot M_k}{\pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot 60}{\pi \cdot 0,03^3} = 11,32 \text{ MPa}$$

- Součinitele tvarů

$$\sigma_{omax} = \alpha_{\sigma} \cdot \sigma_o = 1,6 \cdot 23,63 = 37,81 MPa$$

$$\tau_{kmax} = \alpha_{\tau} \cdot \tau_k = 1,5 \cdot 11,32 = 16,98 MPa$$

- Výpočet redukovaného napětí

$$\sigma_{red} = \sqrt{4 \cdot \tau_{kmax}^2 + \sigma_{omax}^2} = \sqrt{4 \cdot 16,98^2 + 37,81^2} = 50,82 MPa$$

- Určení součinitele bezpečnosti vůči meznímu stavu pružnosti

$$k_p = \frac{Re}{\sigma_{red}} = \frac{305}{50,82} = 6$$

### **Kontrola vůči meznímu stavu únavy**

- Určení součinitelů vrubů a podle Neuberovy rovnice

$$\beta_{\sigma} = \frac{\alpha_{\sigma}}{1 + \frac{2 \cdot (\alpha_{\sigma} - 1)}{\alpha_{\sigma}} \cdot \frac{\sqrt{1}}{\sqrt{2}}} = \frac{1,6}{1 + \frac{2 \cdot (1,6 - 1)}{1,6} \cdot \frac{139}{\sqrt{2}}} = 1,40$$

$$\beta_{\tau} = \frac{\alpha_{\tau}}{1 + \frac{2 \cdot (\alpha_{\tau} - 1)}{\alpha_{\tau}} \cdot \frac{\sqrt{1}}{\sqrt{2}}} = \frac{1,5}{1 + \frac{2 \cdot (1,5 - 1)}{1,5} \cdot \frac{139}{\sqrt{2}}} = 1,33$$

- Určení parametrů proměnlivého namáhání

$$\sigma_{anom\beta} = \beta_{\sigma} \cdot \sigma_{anom} = 1,4 \cdot 23,63 = 33,08$$

$$\sigma_{mnom\beta} = \beta_{\sigma} \cdot \sigma_{mnom} = 1,4 \cdot 11,82 = 16,55$$

$$\tau_{anom\beta} = \beta_{\tau} \cdot \tau_{anom} = 1,33 \cdot 11,32 = 15,06$$

$$\tau_{mnom\beta} = \beta_{\tau} \cdot \tau_{mnom} = 1,33 \cdot 5,66 = 7,53$$

- Určení redukovaných napětí

$$\sigma_{mred} = \sqrt{4 \cdot \tau_{mnom}^2 + \sigma_{mnom}^2} = \sqrt{4 \cdot 7,53^2 + 16,55^2} = 22,38 MPa$$

$$\sigma_{ared} = \sqrt{4 \cdot \tau_{anom}^2 + \sigma_{anom}^2} = \sqrt{4 \cdot 15,06^2 + 33,08^2} = 44,74 MPa$$

- Faktory ovlivňující mez únavy

- Součinitel vlivu jakosti povrchu

$$k_a = a \cdot R_m^b = 4,51 \cdot 530^{-0,265} = 0,85$$

- Součinitel vlivu jakosti tělesa

$$k_b = 1 \cdot d_1^2 = 1,24 \cdot 50^{-0,107} = 0,816$$

- Součinitel vlivu způsobu zatěžování

$$k_c = 1$$

- Součinitel vlivu teploty

$$k_d = 1$$

- Součinitel spolehlivosti

$$k_e = 0,814$$

- Součinitel zahrnující další vlivy

$$k_f = 1$$

- Určení korigované meze únavy

$R_m = 530 \text{ MPa}$ .

$$\sigma_c = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot 0,504 \cdot R_m = 150,81 \text{ MPa}$$

- Určení součinitele bezpečnosti vůči meznímu stavu únavy ku pomocí Goodmanova kritéria porušení

$$k_u = \frac{1}{\frac{\sigma_{ared}}{\sigma_c} + \frac{\sigma_{mred}}{R_m}} = \frac{1}{\frac{44,74}{150,81} + \frac{22,38}{530}} = 2,95$$

### 3.14 Ložiska Hřídelů lisovacích kol

Vedlejší hřídele jsou vybaveny jehličkovými ložisky ISO 3030 (45-C-50x60x40) a hlavní hřídele jsou vybaveny jehličkovými ložisky ISO 3030 (25-C-80x95x40).

#### **Výpočet trvanlivosti ložisek pro hlavní hřídele.**

$$L_D = \left(\frac{C_1}{P}\right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{L_{10}}{n \cdot 60} = \left(\frac{164000}{40000}\right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{214 \cdot 60} = 8591h$$

#### **Výpočet trvanlivosti ložisek pro vedlejší hřídele.**

$$L_D = \left(\frac{C_1}{P}\right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{L_{10}}{i_s \cdot i_f} = \left(\frac{107900}{20000}\right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{428 \cdot 60} = 10724h$$



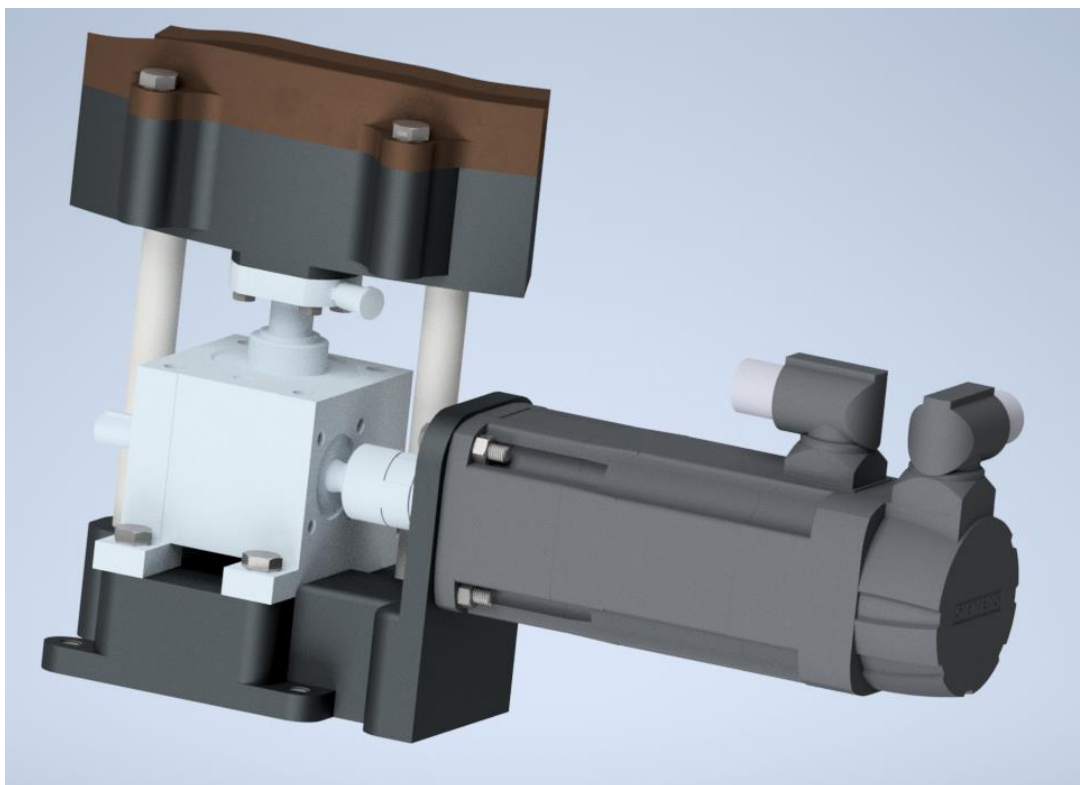
### 3.15 Nastavení výšky

Skládá se ze dvou částí, a to z plnicí dráhy vyrobené z bronzu a podložky plnicí dráhy. Jsou spojeny za pomoci dvou šroubů AS 1110 M8x40.

Podložka dráhy obsahuje dva otvory pro vodící tyče, které zabraňují rotaci podložky při rotaci šroubu převodovky a jeden pro umístění zdvižné převodovky, ke které je spojena za pomoci šesti šroubů AS 1110 M5x30.

#### 3.15.1 Volba motoru a převodovky pro nastavení výšky

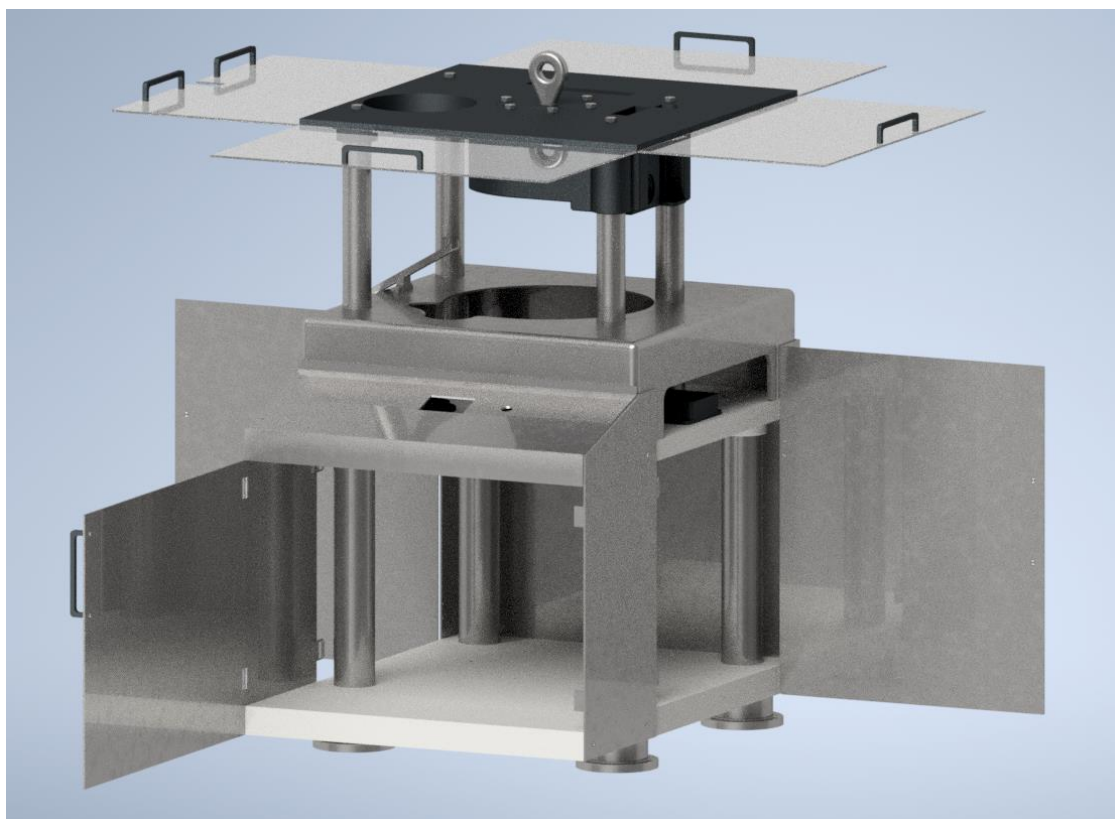
Nastavení výšky je poháněno servomotorem 1FK7032-2AF23-1EB0-Z značky Sinamics od firmy Siemens, který je spojen hřídelovou spojkou s zdvižnou převodovkou GSZ-5-RN-KGT 16x5, C = 9,3 kN – G od firmy ZIMM.



Obrázek 24 Nastavování výšky

### 3.16 Rám stroje

Je tvořen dvěma ocelovými deskami propojenými čtyřmi nohama a horní deska je dále spojena s horním rámem stroje za pomoci čtyř podpor. K horní desce jsou namontovány podložky dolních lisovacích hřídelů, podložka převodovky, podložka plnění a podstava pro dolní vodící dráhu. Horní rám je spojen za pomoci osmi šroubů AS 1110 M10x35 s podložkou horní vodící dráhy. K hornímu rámu jsou za pomoci osmi pantů 50-7-3551 od firmy PINET INDUSTRIE připevněny čtyři plexiskla s klikami. Jedno Plexisklo obsahuje výřez pro spád tablet. Desky jsou zakrytovány ocelovými plechy obsahujícími tři dveře s klikami opět spojeny za pomoci celkem šesti pantů 50-7-3551 se zbytkem zakrytí stroje. Horní část obsahuje hák, který umožňuje zdvih horní části, či celého stroje za pomoci jeřábu.



Obrázek 25 Rám stroje

### 3.17 Ovládání

Stroj bude řízen pomocí PLC LOGO od firmy Siemens. K němu budou připojeny frekvenční měniče a senzory tlaku U2A 0,1T od firmy HBM a lineární pravítka LHK 30 od firmy MEGATRON.

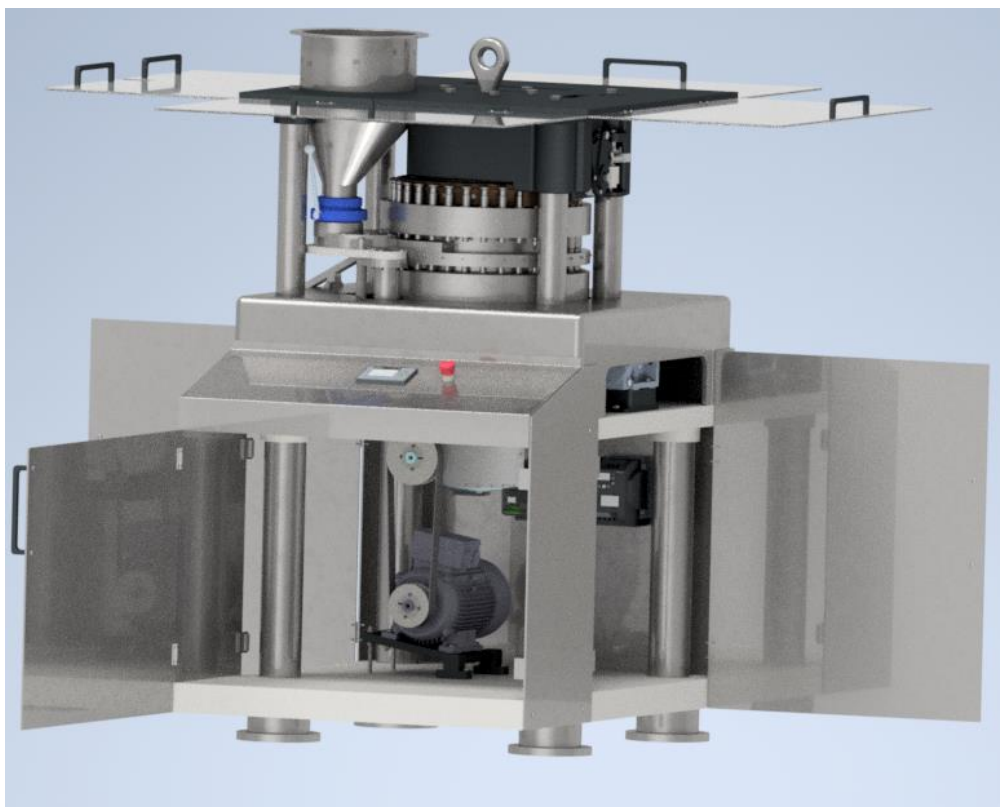
Senzory tlaku udávají aktuální hodnoty lisovací síly a zajišťují, aby při překročení maximální povolené síly stlačování došlo k zastavení stroje.

Lineární pravítka udávají aktuální hodnoty výšky spodních lisovacích válců a výšky plnění.

K ovládání bude sloužit ovládací panel Siemens LOGO! TD – 6ED1055-4MH08-0BA1 od firmy Siemens.

K nouzovému zastavení stroje bude sloužit SIRIUS ACT 3SU1050-1HA20-0AA0 od firmy Siemens.

## 4. Závěr



Obrázek 26 Rotační tabletovací lis

V této práci byl navrhnout rotační tabletovací lis, který je schopen produkovat až 200 000 tablet za hodinu, při lisovací síle na před-lisu až 40kN a 80kN na hlavním lisu. Lis je určen pro nástroje typu EURO B a obsahuje 32 lisovacích stanic. Přívod prášku je zajištěn motýlkovým ventilem spojeným s násypkou. Věž je připevněna na hřídeli uloženém ve šnekové převodovce od firmy TOS Znojmo s převodovým poměrem 10, poháněné elektromotorem od firmy Siemens s výkonem 3 kW napojeném přes ozubený převod s převodovým poměrem 1,3. Řemenice jsou uchyceny na hřídelích pomocí Taper Lock matic. Hřídel je uložena ve dvou kuželíkových ložiscích uložených v rámu stroje.

Plnění je poháněno elektromotorem od firmy Siemens s výkonem 0,55 kW, spojeném se šnekovou převodovkou od firmy TOS Znojmo s převodovým poměrem 5. Hřídel plnění je uložena ve dvou kuličkových ložiscích.

Dolní lisovací válce jsou poháněny servomotory vybavené šnekovou převodovkou s převodovým poměrem 265,2 od firmy Siemens. Horní jsou nastavitelné ručně.

Nastavení výšky je poháněno servomotorem od firmy Siemens zapojené ve zdvižné převodovce od firmy ZIMM.

Rám stroje je tvořen dveřmi ocelovými deskami, horním rámem, čtyřmi nohama a čtyřmi podporami. Je uzavřen sedmi ocelovými plechy.

Stroj je vybaven o řídicí modul PLC LOGO! A ovládací panel od firmy Siemens. Na panelu půjde nastavit otáčky, plnicí výška a lisovací výšky. K určení lisovacích sil slouží senzor tlaku a pro měření nastavených výšek lineární pravítko.

Celkové rozměry stroje jsou 2314,4 x 2105 x 1670,9 mm. Materiály součástí, které přijdou do přímého kontaktu s práškem byly voleny tak, aby byly vhodné pro farmaceutický průmysl.

## 5. Seznam použitých zdrojů

- [1] SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a Jiří DVOŘÁČEK. Základy konstruování. Vydání šesté. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2015. ISBN 978-80-7204-921-9.
- [2] JANÍČEK, Přemysl a Jiří MAREK. Expertní inženýrství v systémovém pojetí. Praha: Grada, 2013. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-4127-7.
- [3] MEDEK, Jaroslav. Mechanické pochody. Vyd. 3., přeprac. Brno: PC-DIR Real, 1998, 217 s. : il. ISBN 80-214-1264-X.
- [4] The Different Types Of Tablet Press. In: lfatabletpresses.com [online]. b.r. [cit. 2021-09-01]. Dostupné z: <https://www.lfatabletpresses.com/articles/types-tablet-press>
- [5] What is a single station tablet press and how does it work? In: lfatabletpresses.com [online]. b.r. [cit. 2021-09-01]. Dostupné z: <https://www.lfatabletpresses.com/articles/single-station-tablet-presses>
- [6] Multiple Station Tablet Rotary Press. In: lfatabletpresses.com [online]. b.r. [cit. 2021-09-01]. Dostupné z: <https://www.lfatabletpresses.com/articles/multiple-station-tablet-rotary-press>
- [7] VICE Hand Held Press. In: lfatabletpresses.com [online]. b.r. [cit. 2021-09-01]. Dostupné z: <https://www.lfatabletpresses.com/vice-hand-held-tablet-press>
- [8] TDP 0 Desktop Tablet Press. In: lfatabletpresses.com [online]. b.r. [cit. 2021-09-01]. Dostupné z: <https://www.lfatabletpresses.com/desktop-tablet-press-tdp-0>
- [9] Presses for the pharmaceutical industry. In: medicalexpo.com [online]. b.r. [cit. 2021-09-01]. Dostupné z: <https://www.medicalexpo.com/medical-manufacturer/press-46718.html?originalFilter=39374d3866572b79396a664f56764f4e55636177776758653449434b745548754f49395774507262576f4372627642577045616438523062534a7a356c4d6b4e794d7a595642524e4638637346646f515347356e4f33704f5534594466417a474b7876304e7576576551624c645771306a356a54383632386333373875375a43315266555836635a39624b7139476654364d78733652793275327143686b416b655337734a4538386d376e674e7873706141484e386c344331773534423867686730725361767959317a772f4e366b6d68383637336a44624e6739332b4c432b472b6d514d784c387943773d>
- [10] Rotační tabletovací lis: The Ultimate Guide. In: cz.cofpack.com [online]. 2019 [cit. 2021-09-01]. Dostupné z: <http://cz.cofpack.com/info/rotary-tablet-press-the-ultimate-guide-38411812.html>
- [11] Typy a klasifikace tabletového lisu: Který tabletovací stroj byste si měli koupit? In: cz.cofpack.com [online]. 2019 [cit. 2021-09-01]. Dostupné z: <http://cz.cofpack.com/info/types-classification-of-tablet-press-which-37040178.html>
- [12] Výroba tablet: The Ultimate Guide. In: cz.cofpack.com [online]. 2019 [cit. 2021-09-01]. Dostupné z: <http://cz.cofpack.com/info/tablet-manufacturing-the-ultimate-guide-38168659.html>
- [13] SUCHÁ GRANULACE: Definitivní průvodce. In: cz.cofpack.com [online]. 2019 [cit. 2021-09-01]. Dostupné z: <http://cz.cofpack.com/info/dry-granulation-the-definitive-guide-39731356.html>

- [14] Výroba tablet. In: docplayer.cz [online]. 2016 [cit. 2021-09-01]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/storage/60/45242703/1578614556/axpcLkINFEo-6Cxiw3XTDQ/45242703.pdf>
- [15] Variable frequency drive Siemens Sinamics V20. In: automation24.biz [online]. b.r. [cit. 2021-21-05]. Dostupné z: <https://www.automation24.biz/variable-frequency-drive-siemens-sinamics-v20-6sl3210-5be23-0cv0>
- [16] Variable frequency drive Siemens Sinamics V20. In: automation24.biz [online]. b.r. [cit. 2021-21-05]. Dostupné z: <https://www.automation24.biz/variable-frequency-drive-siemens-sinamics-v20-6sl3210-5bb15-5bv1>
- [17] Siemens LOGO TD. In: automation24.biz [online]. b.r. [cit. 2021-21-05]. Dostupné z: <https://www.automation24.biz/siemens-logo-td-6ed1055-4mh08-0ba1>
- [18] Siemens LOGO 24 CEO. In: automation24.biz [online]. b.r. [cit. 2021-21-05]. Dostupné z: <https://www.automation24.biz/siemens-logo-24-ceo-6ed1052-2cc08-0ba1>
- [19] Siemens Sirius Act In: automation24.biz [online]. b.r. [cit. 2021-21-05]. Dostupné z: <https://www.automation24.biz/emergency-stop-off-button-siemens-sirius-act-3su1050-1ha20-0aa0>
- [20] Pinet Industrie Small Hinges In: traceparts.com [online]. b.r. [cit. 2021-21-05]. Dostupné z: <https://www.traceparts.com/en/product/pinet-industrie-small-hinges-a?Product=90-18062018-051892&PartNumber=50-7-3551>
- [21] Taperlock Bushings In: traceparts.com [online]. b.r. [cit. 2021-21-05]. Dostupné z: <https://www.traceparts.com/en/product/gates-taperlock-bushings-size-1108?Product=32-07102010-088120&PartNumber=1108%20x%2012.7>
- [22] Valve In: traceparts.com [online]. b.r. [cit. 2021-21-05]. Dostupné z: <https://www.traceparts.com/en/product/shanghai-hua-tong-valve-co-ltd-outside-screw-stainless-steel-butterfly-valve-d21x10p80?CatalogPath=TRACEPARTS%3ATP07006002&Product=50-02082016-095400&PartNumber=D21X-10P-80>
- [23] LHK 30 In: megatron.cz [online]. b.r. [cit. 2021-21-05]. Dostupné z: <https://www.megatron.cz/lhk>
- [24] Katalog D81.1 In: elektropohony.com [online]. 2013 [cit. 2021-21-05]. Dostupné z: <https://www.elektropohony.com/files/katalogy/katalog-d811-2013-1le1-1mb1-1pc1-cz.pdf>
- [25] Tablet Tooling Solutions In: wilsontool.com [online]. b.r. [cit. 2021-21-05]. Dostupné z: <https://www.wilsontool.com/WilsonTool/files/f2/f2a158fc-e8eb-4d51-a1b3-f0222cdda631.pdf>
- [26] Kilian S 250 Smart In: romaco.com [online]. b.r. [cit. 2021-21-05]. Dostupné z: <https://www.romaco.com/en/exploiting-technologies/kilian/kilian-s-250-smart/>
- [27] Manufacture of tablets by direct compression method In: pharmapproach.com [online]. b.r. [cit. 2021-21-05]. Dostupné z: <https://www.pharmapproach.com/manufacture-of-tablets-by-direct-compression-method-2/>



- [28] Šnekové převodovky MRT-A In: d2.tos-znojmo.cz [online]. b.r. [cit. 2021-21-05]. Dostupné z: <https://d2.tos-znojmo.cz/cze/produkce/snekove-prevodovky/snekove-prevodovky-mrt-a/>
- [29] 2-5kN-16x5-R Ball screw GSZ In: en.zimm.com [online]. b.r. [cit. 2021-21-05]. Dostupné z: <https://en.zimm.com/product/2-5kn-16x5-r-ball-screw-gsz/>
- [30] U2A legal for trade tension and compression load cell In: hbm.com [online]. b.r. [cit. 2021-21-05]. Dostupné z: <https://www.hbm.com/en/2709/u2a-legal-for-trade-tension-and-compression-load-cell/>
- [31] Catalog D 41 In: support.industry.siemens.com [online]. b.r. [cit. 2021-21-05]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109747093/catalog-d-41%3A-simotics-s-1fg1-servo-geared-motors-helical-parallel-shaft-bevel-and-helical-worm-geared-motors?dti=0&lc=en-WWV>
- [32] Simotics S 1FK7 In: new.siemens.com [online]. b.r. [cit. 2021-21-05]. Dostupné z: <https://new.siemens.com/global/en/products/drives/electric-motors/motion-control-motors/simotics-s/simotics-s-1fk7.html>
- [33] Simotics S 1FG1 In: new.siemens.com [online]. b.r. [cit. 2021-21-05]. Dostupné z: <https://new.siemens.com/global/en/products/drives/electric-motors/motion-control-motors/simotics-s/simotics-s-1fg1.html>
- [34] Simotics GP In: new.siemens.com [online]. b.r. [cit. 2021-21-05]. Dostupné z: <https://new.siemens.com/global/en/products/drives/electric-motors/low-voltage-motors/simotics-gp.html>
- [35] Critical parts of tablet press machine In: dewan-pavel.blogspot.com [online]. 2016 [cit. 2021-21-05]. Dostupné z: <https://dewan-pavel.blogspot.com/2016/11/critical-parts-of-tablet-press-machine.html>
- [36] Pressure rollers In: pharmamannual.com [online]. b.r. [cit. 2021-21-05]. Dostupné z: <http://pharmamannual.com/pressure-rollers/>
- [37] GZP(K)-570 In: lkpharmamachinery.com [online]. b.r. [cit. 2021-21-05]. Dostupné z: [https://www.lkpharmamachinery.com/products/Tablet\\_Press\\_Machine/GZP\(K\)-570-series-High-Speed-Rotary-Tablet-Press-machine.html](https://www.lkpharmamachinery.com/products/Tablet_Press_Machine/GZP(K)-570-series-High-Speed-Rotary-Tablet-Press-machine.html)
- [38] Rotary tablet press In: saintytec.com [online]. b.r. [cit. 2021-21-05]. Dostupné z: <https://www.saintytec.com/rotary-tablet-press/>
- [39] Tablet compression machine parts In: saintytec.com [online]. b.r. [cit. 2021-21-05]. Dostupné z: <https://www.saintytec.com/tablet-compression-machine-parts/>

## 6.Seznam obrázků

Obrázek 1 Průběh tlaků .....	17
Obrázek 2 Tabletování.....	19
Obrázek 3 Mokrý granulace.....	20
Obrázek 4 Suchá granulace .....	21
Obrázek 5 Srovnání typů granulace z hlediska potřebných strojů.....	22
Obrázek 6 VICE složený .....	24
Obrázek 7 VICE rozložený .....	24
Obrázek 8 TDP 0 zezadu .....	25
Obrázek 9 TDP 0 zepředu.....	25
Obrázek 10 TDP 5 .....	25
Obrázek 11 Hlavní komponenty RTP .....	29
Obrázek 12 Fáze výroby na RTP .....	31
Obrázek 13 Věž.....	32
Obrázek 14 Horní vodící dráha .....	33
Obrázek 15 Dolní vodící dráha .....	34
Obrázek 16 Tabulka součinitele S.....	36
Obrázek 17 Katalog motorů Siemens .....	36
Obrázek 18 Hlavní pohon .....	37
Obrázek 19 Hřídél věže.....	38
Obrázek 20 Plnička .....	43
Obrázek 21 Pohon plnění .....	44
Obrázek 22 Horní lisovací sestava .....	48
Obrázek 23 Dolní lisovací sestava .....	48
Obrázek 24 Nastavování výšky .....	65
Obrázek 25 Rám stroje .....	66
Obrázek 26 Rotační tabletovací lis .....	67

## 7.Seznam příloh

- Model sestavy ve formátu STEP
- Výkres hlavní horní hřídele
- Výkres vedlejší horní hřídele
- Výkres hlavní spodní hřídele
- Výkres vedlejší spodní hřídele
- Výkres hřídele plnění
- Výkres hřídele věže
- Výkres sestavy
- Kusovník 1
- Kusovník 2
- Kusovník 3
- Kusovník 4
- Kusovník 5
- Kusovník 6
- Kusovník 7